绿色经典文库

GREEN CLASSICS LIBRARY

增长的极限

THE LIMITS TO GROWTH

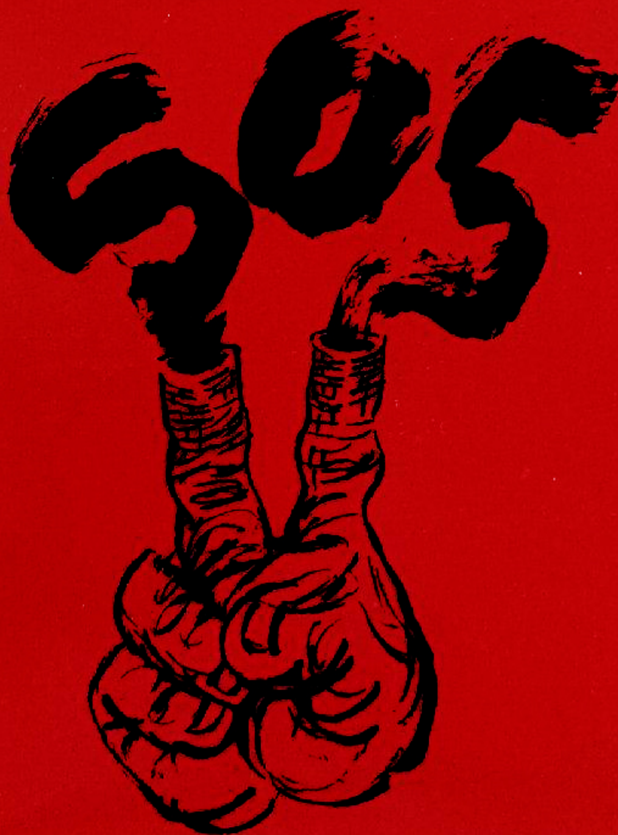
——罗马俱乐部关于人类困境的报告

A REPORT FOR THE CLUB OF ROME'S PROJECT ON THE PREDICAMENT OF MANKIND

[美]丹尼斯·米都斯　等著
李宝恒　译

by Dennis L. Meadows et al
Translated by Li Baoheng

吉林人民出版社
JILIN PEOPLE'S PUBLISHING HOUSE



VISIT...

LANZAROTE Caliente.com

绿色经典文库

GREEN CLASSICS LIBRARY

增长的极限

THE LIMITS TO GROWTH

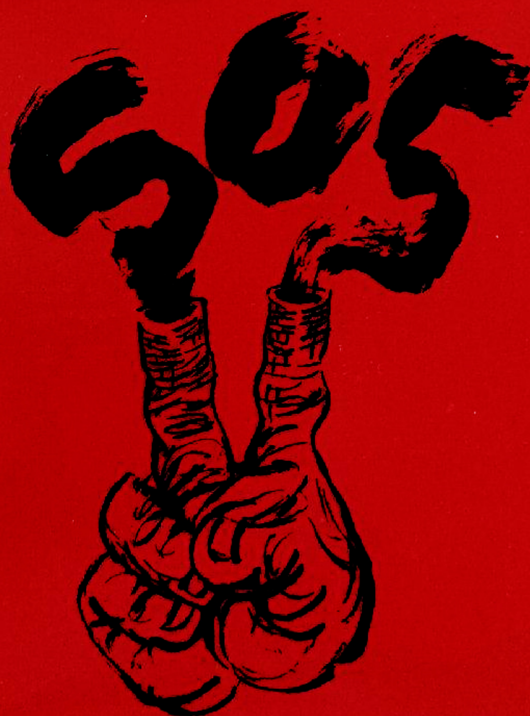
——罗马俱乐部关于人类困境的报告

A REPORT FOR THE CLUB OF ROME'S PROJECT ON THE PREDICAMENT OF MANKIND

[美]丹尼斯·米都斯　等著
李宝恒　译

by Dennis L. Meadows et al
Translated by Li Baoheng

吉林人民出版社
JILIN PEOPLE'S PUBLISHING HOUSE



增长的极限

德内拉.梅多斯等

译 序

前 言

英文版序

第一章 指数增长的本质

指数增长的数学

模型和指数增长

世界人口增长

世界经济增长

第二章 指数增长的极限

粮食

不可再生的资源

污染

按指数增加的污染

不知道的上限

生态过程中的自然滞后

污染物质的全球分布

污染极限

一个有限的世界

第三章 世界系统中的增长

这个世界模型的目的

反馈回路结构

定量的假定

人均资源利用

期望的出生率

污染对寿命的影响

世界模型的用处

世界模型的行为

第四章 技术和增长的极限

世界模型中的技术

能源和资源

控制污染

增加粮食产量和控制生育

过分的方式

现实世界中的技术

技术的副作用

技术所不能解决的问题

极限的选择

第五章 全球均衡状态

自觉抑制增长

均衡状态

均衡状态中的增长

均衡状态中的平等

从增长过渡到全球均衡

译 序

《增长的极限》从1972年公开发表以来，四分之一个世纪过去了。在这新世纪即将来临的年代里，在我们这个人口数量最多，经济增长速度最快的发展大国，重新出版这本“旧书”，仍然有深远意义。这不仅因为这本书早已是名满全球的一块丰碑，而且因为这份研究报告所提出的全球性问题，如人口问题、粮食问题、资源问题和环境污染问题（生态平衡问题）等，早已成为世界各国学者专家们热烈讨论和深入研究的重大问题。这些问题也早已成为世界各国政府和人民不容忽视，亟待解决的重大问题。对此，在思想上必须高度重视，在实际行动上必须高度负责，切实解决，否则，人类社会就难以避免在严重困境中越陷越深，为摆脱困境所必须付出的代价将越来越大。

书中的观念和论点，现在听来，不过是平凡的真理，但在当时，西方发达国家正陶醉于高增长、高消费的“黄金时代”，对这种惊世骇俗的警告，并不以为然，甚至根本听不进去。现在，经过全球有识之士广泛而又热烈的讨论，系统而又深入的研究，有越来越多的人们取得了共识。人们日益深刻地认识到：产业革命以来的经济增长模式所倡导的“人类征服自然”，其后果是使人与自然处于尖锐的矛盾之中，并不断地受到自然的报复，这条传统工业化的道路，已经导致全球性的人口激增、资源短缺、环境污染和生态破坏，使人类社会面临严重困境，实际上引导人类走上了一条不能持续发展的道路。

人类社会要继续发展，该怎么办？

为了人类社会美好的未来，我们再也不能为所欲为地向自然界贪婪地索取，恣意地掠夺了。因为，“我们不只是继承了父辈的地球，而是借用了儿孙的地球”——这句话寓意深刻，《联合国环境方案》曾用这句话来告诫世人。1981年，当代科学家、思想家莱斯特·布朗又在他的影响深远的著作《建设一个可持续发展的社会》的扉页上引用了这句话来呼唤人类猛醒，呼吁人类社会采取有效措施，努力稳定全球人口规模，保护自然资源，开发和利用可再生资源，自觉地改变价值观念，努力探索一条人与自然协调发展的新路，建设一个可持续发展的社会。

切实解决全球性问题，实现可持续发展，关系到人类的前途和命运，影响着世界上每一个国家，每一个民族，以致每一个人，要开展广泛和有效的国际合作。

1992年6月，联合国在巴西的里约热内卢召开环境与发展大会，期望在全球范围内，采取协调一致的行动，有效地解决环境与发展问题，制定了实施既满足当代人的需求，又不对后代人满足其需求构成危害的全球可持续发展战略。大会通过了《里约环境与发展宣言》、《21世纪议程》以及《关于森林问题的原则声明》等重要文件，并签署了联合国《气候变化框架公约》、联合国《生物多样性公约》，充分体现了人类社会可持续发展的新思想，尤其是《21世纪议程》，已经成为指导世界各国制定和实施可持续发展战略的纲领性文件，为新世纪人和自然的发展，为人口、资源、环境以及经济和社会的协调发展指明了正确的新方向。

会后，我国政府即着手制定《中国21世纪议程——中国 21世纪人口、环境与发展白皮书》，作为各级人民政府制定国民经济和社会发展长期计划的指导性文件。1996年，又在我国《国民经济和社会发展“九五”计划和2010年远景目标纲要》中明确提出，可持续发展战略和科教兴国战略是国家今后发展的大战略，经济体制和经济增长方式要实现两个根本性转变。同年7月，我国政府又提出了“关于进一步推动实施《中国21世纪议程》的意见”。

但是，要实现可持续发展，单靠政府发文件显然是不够的，还要引导企业和全民广泛参与，不断提高认识，落实到行动。

我国是一个人口众多，自然资源相对短缺，经济基础薄弱，技术水平比较落后的国家。改革开放以来，在经济高速增长过程中所承受的人口、资源和环境的压力是世界罕见的，必须经历长期的、坚持不懈的艰苦奋斗，并付出很大的代价，才能逐步实现可持续发展。

可持续发展的前提是发展，21世纪的发展主要靠什么？靠提高人的素质。

我国人口不仅数量很大，而且科学文化素质又比较低，这是21世纪我国发展的最严重的制约因素。我国人口总数于 1995年12月已超过12亿，到2000年将接近13亿。1990年时，全国文盲半文盲还有1.8亿，农村就业人员中文盲半文盲占36%。全国有一半省市有待完全普及基础教育，而迄今为止，对教育的投入仍旧偏低。1994年，我国教育经费仅占GDP的2.6%，不仅远低于全世界的平均水平（1991年为 5.6%），也低于发展中国家的平均水平（4.1%）。职业技术教育，成人教育和高等教育与发达国家差距更大。因此，人的素质和能力问题，今后仍将是我国

发展的严重制约因素。

由于人口多，我国淡水、耕地、森林和草地等自然资源的人均水平，都远低于世界的平均水平，分别为世界平均水平的 28.1%、32.3%、14.3%和32.3%。

我国农业和城市缺水十分严重。农业每年缺水达300亿立方米，农村有8000万人饮水困难，全国300多个城市缺水，而且水污染严重。耕地近十年来每年减少36万公顷，受污染的耕地近2000万公顷，约占耕地总面积的1/5。土地严重退化，自然灾害频繁，人均粮食占有量，至今不足400公斤。

农业是国民经济的基础，农业和农村实现可持续发展是我国实现可持续发展的根本保证。可是，在实际生活中，这个领域往往被忽视而制约发展的全局。

能源也是国民经济的基础。改革开放以来，由于经济高速增长，我国能源供需矛盾尖锐。我国的能源又以煤为主，约占消费构成的75%。工业和交通运输业燃煤所产生的污染占全国总污染的70%以上，造成全国城乡严重的大气污染和水污染。现在，几乎所有城市都有烟尘污染问题，北方城市在冬季尤其严重。南方则已形成大面积酸雨区，对森林、土壤、农作物和建筑物造成危害。因此，要尽量减少工业和交通运输业的废物排放，提高能源和资源的利用效率，这是实现可持续发展的关键所在，但是，这需要巨大的投入。

至于在全球实现可持续发展，就更加任重道远了。

事实上，全球性问题主要是发达国家在工业化过程中恣意掠夺自然资源和大量排放污染物、废弃物造成的，他们理应对全球资源短缺、环境恶化和生态破坏负主要责任。现在，发达国家已经发展成为富国，既有雄厚的经济实力，又有先进的科学技术，理应为切实解决全球的问题承担更多的责任，可是，在这个问题上，至今还是文件写得好，实事干成的不多，雷声大，雨点少。我们期待着全球社会在21世纪沿着可持续发展的道路，团结协作，切实解决全球性的问题，努力把地球建设成为人类安居乐业的美好家园。

李宝恒

1997年8月

前 言

1968年4月，来自十个国家的科学家、教育家、经济学家、人类学家、实业家、国家的和国际的文职人员，约30个人聚集在罗马山猫科学院。他们在意大利的一位有远见卓识的工业企业经理、经济学家，奥莱里欧·佩切依博士的鼓动下聚会，讨论现在的和未来的人类困境这个令人震惊的问题。

罗马俱乐部

罗马俱乐部就是经过这次会议产生的。罗马俱乐部是一个非正式的组织，恰当地说，是一个“无形的学院”。它的目的是促进对构成我们生活在其中的全球系统的多样但相互依赖的各个部分——经济的、政治的、自然的和社会的组成部分的认识，促使全世界制定政策的人和公众都来注意这种新的认识，并通过这种方式，促进具有首创精神的新政策和行动。

罗马俱乐部作为一个非正式的国际协会，现在成员已增加到大约25个国籍的70个人。它的成员没有一个担任公职，这个团体也不局限于任何特定的意识形态、政治的或国家的观点，他们完全为一种压倒一切的信念联合起来了。人类正面临着复杂而相互联系的各种问题，而这些问题是传统的制度和政策所不能应付的，甚至也不能把握它们的基本内容。

罗马俱乐部成员的背景，像他们的国籍一样多样化，佩切依博士在这个团体范围内仍然是首要的动力。他是菲亚特和奥莉维蒂的成员，并经营一家有关经济和工程发展的咨询企业，意大利咨询公司，欧洲最大的一家咨询机构。罗马俱乐部的其他领导人包括：日内瓦巴特尔研究所负责人雨果·西曼；担任经济合作和发展组织（OECD）科学主任的亚历山大·金；东京日本经济研究中心负责人saburo okita；西德汉诺威技术大学的爱德华·佩斯特尔以及麻省理工学院的卡洛尔·威尔逊。现在罗马俱乐部的成员虽然有限，未来也不会超过100个，但它的成员却在扩展，必将包括越来越多样的文化、国家和价值系统的代表。

对人类困境的研究计划

罗马俱乐部早期的一系列会议决定开创对人类困境的研究计划，这显然是一项雄心勃勃的事业。

这个研究计划的目的是要考察给人类和所有国家造成不安的复杂问题：富足中的贫困，环境的退化，对制度丧失信心，就业无保障，青年的异化，遗弃传统价值，通货膨胀，以及金融和经济混乱。罗马俱乐部把这些问题称为“世界性的问题”（world Problematique）。这些多种多样的问题有着三个共同的特征：这些问题某种程度上在一切社会里都出现了；这些问题包含技术的、社会的、经济的和政治的因素；最重要的是它们相互作用着。

人类的困境在于：人类尽管具有很多知识和技能，可以看出这个问题，然而，却不能理解它的许多组成部分的起源、意义和相互关系。因此不可能做出有效的反应。这种失败的发生原因在于：我们继续考察这个问题的某一个部分时，不理解这一部分仅仅是整体的一个方面，也不理解一个因素会导致其他因素的变化。

1970年夏，在瑞士伯尔尼和麻省坎布里奇举行会议，确定了对人类困境的研究计划的第一阶段所采取的形式。在坎布里奇的两周会议上，麻省理工学院的杰伊·福雷斯特教授提出了一个全球模型，容纳了清楚地识别这个问题的许多具体组成部分，并为分析最重要的组成部分的行为和关系提出了一种方法。这种方法的提出，导致了“麻省理工学院第一阶段”（Phase One at MIT）的开始。在那里，福雷斯特教授和其他人在系统动力学领域的开创性工作，为研究的需要提供了适当的专门知识。

第一阶段的研究工作是在丹尼斯·米都斯教授的指导下，由一个国际小组进行，并且有人民基金会的财政支援。这个小组考察了五个最终决定和限制我们星球增长的基本因素——人口，农业生产，自然资源，工业生产和污染。现在，这项研究已经完成。这本书是为一般读者出版的第一份研究成果的报告。

全球性挑战

波托马克协会、罗马俱乐部和麻省理工学院研究小组联合出版《增长的极限》，是真正的骄傲和愉快。

像罗马俱乐部一样，我们也是一个青年组织，而且我们相信，罗马俱乐部的目标同我们自己的目标是很接近的。我们的目的是要把新的观念、新的分析和新的方法引进一再发生的国内问题和国际问题的研究，引起所有对我们生活质量和发展方向关注并能起到决定性帮助作用的人们的注意。因而，我们乐于通过我们的出书计划，使这一大胆的和给人

以深刻印象的工作发生效力。

我们希望，《增长的极限》会在所有社会中博得批判性的注意，并激发争论。我们希望，它将鼓励每一个读者思考增长与进步的等同关系及其结果。而且，我们希望，它会导致一切领域里有思想的先生们和女士们明白：如果我们要维护这个我们自己和我们的孩子们居住的星球，现在就需要一致行动。

威廉·瓦特

波托马克协会主席

我作为秘书长并不希望一切显得太有戏剧性。但是，我只能从对我有用的信息中得出结论：联合国的会员国也许只剩下十年时间了。在这十年中，要把它们的旧有的争端放在从属地位，确立全球性的伙伴关系，以抑制军备竞赛， 改善人类环境，使人口爆炸停止，并使发展努力得到所需要的力量，如果这样一种伙伴关系不能在今后十年中确立， 那么我非常担心我已经提到的那些问题会达到如此令人震惊的地步，以至我们丧失控制能力。

——尤·桑特，1969年

尤·桑特提到的军备竞赛、环境恶化、人口爆炸和经济萧条等问题，被现代人引证为主要的和长期的问题。许多人相信，人类社会的未来进程，甚至人类社会的生存，也许就取决于世界对这些问题做出反应的速度和效率。然而，世界人口中只有一小部分关心对这些问题的理解，或寻求解决这些问题的办法。

人类前景

世界上每个人都面临着一系列压力和问题，需要他的注意和行动。这些问题在许多不同的层次上影响着他。他可能试图为他自己和他的家庭得到明天的食品花费许多时间；他可能关心个人的权力或者他所在的国家的权力；他可能担心在他的一生中发生世界大战，或者同他邻居中的一伙对手在下个星期发生一场冲突。

人类所关心的事情的不同层次，可以在图1上表示出来。这张图包含空间和时间二个维度。人类所关心的每一件事，可以在这张图的某些点上确定，其位置取决于它所包含的地理上的空间有多大和它在时间上的延续有多久。大多数人烦恼的事情集中在这张图表的左下角。对这些人来说，生活是困难的，他们几乎必须逐日把他们的全部努力都用于养活他们自己和他们的家庭；另外一些人思考的问题和行动，则在空间或时间轴线上的更远位置，他们所察觉的压力不仅包括他们自己，而且包括他们所参与的共同体。他们采取的行动不是向未来延续几天，而是几周或者几年。

一个人在时间和空间上正确地观察事物相互关系的能力，取决于他的教养，他过去的经验，以及他在每个层次上面临的问题的紧迫性。大

多数人在把他们所关心的事情伸展到较大领域里的问题以前，必须已经成功地解决了较小领域里的问题。一般说，与问题有关的空间愈大，时间愈长，真正关心其解决办法的人数就愈少。

虽然世界人民的前景在空间和时间上是不同的，人类所关心的每一件事情都落在这张空间—时间图表的某些地方。世界人民的大多数关心的是在短期内只影响家庭或朋友的事情。另外一些人在时间上或者在更大的区域上，如一个城市或一个国家。进一步向前看，只有很少数人对全球及其未来有卓识远见。

一个人的眼界局限于太小的领域，是令人扫兴而且危险的。一个人全力以赴，力求解决某些刻不容缓的局部问题，结果却发现他的努力在更大范围内发生的事件面前失败了。这方面有许多例子。一个农民精心维护的田地，可能在一次国际战争中被毁灭；地方官员的计划可能被一项国家政策推翻；一个国家的经济发展可能由于世界对它的产品缺乏需求而受挫折。大多数个人的目标最终可能由于像尤·桑特提到的那些长期的全球趋势而遭到失败。今天对这些问题的关心确实在增长。

这些全球趋势的含意，真的是如此有威胁性，以致解决这些问题，应当先于人们关心的局部的短期事件吗？

尤·桑特提出的，要使这些趋势受到控制，只剩下不到十年的时间了的结论是正确的吗？

如果这些趋势不受控制，后果会是什么呢？

为了解决全球问题，人类有什么方法呢？

每一种方法的代价和结果会是什么呢？

在罗马俱乐部对人类困境的研究计划的第一阶段中，我们已经研究了这些问题。这就是说，我们所关心的事情落在这张空间——时间图表的右上角。

问题和模型

每个人都借助于模型同他的问题打交道，而不论这些问题究竟在这

张空间——时间图表的什么地方出现。模型只不过是关于复杂系统的一套安排好的假设而已。人们试图通过其直觉和过去的观察经验的选择，以便比较恰当地理解这个变化无穷的世界的某些方面。一个农场主用他的土地、他的财产、市场预测和过去的气候条件的内心模型来决定每年种什么作物；一个勘测员绘制一张地图这样的物质模型来帮助规划一条道路；一个经济学家用数学模型来理解和预测国际贸易的流量。

每个层次上的决策者不自觉地用内心模型去选择各种政策，这些政策将塑造我们的未来世界。这些内心模型，同实在比较时，必须是很简单的，它们就是从实在中抽象出来的。人脑是卓越的，它能把握决定现实世界本质的、复杂的，同时又相互作用的因素。

我们也用了一个模型，这是一个正规的，成文的世界模型。（这个原始模型是由麻省理工学院的杰伊·w·福雷斯特教授设计的。我们的工作就是以这个原始模型为基础的。对这个模型的描述，已经在他的著作《世界动力学》（World Dynamics）（Cambridge，mass：Wright-Allen Press，1971）中发表了。）人类日益增长的知识已经产生了一种科学方法——系统分析和现代计算机，用这种新的信息处理工具，把已经在人类思想中和书面记录中的大量信息结合起来，构成了最初的尝试，以改进我们的长期的、全球问题的内心模型。

我们的世界模型主要是为探索全球关切的五种主要趋势：加速工业化、快速的人口增长、普遍的营养不良、不可再生资源的耗尽，以及恶化的环境等而建立的。这些趋势以许多方式互相联系着，它们的发展要以几十年或者几个世纪，而不是以几个月或者几年来衡量的。我们用这个模型，力求了解这些趋势的原因，它们的相互关系，以及它们对未来100年里的影响。

我们已经建立的模型，像其他每一个模型一样，是不完备的、过分简化了的和未完成的。我们完全意识到了它的缺点，但是我们相信，它是现今适用于处理空间—时间图表上远处出现的各种问题的最有用的模型。根据我们所知，它是现存唯一规范的模型。其规模是真正全球性的，时间范围长达30年以上。就像在实在世界里那样，包括一些重要变量，例如人口、粮食生产和污染，不是作为孤立的实体，而是作为动态的相互作用的因素。

由于我们的模型是一个规范的，或数学的模型，它也有两个重要优点超过内心模型。第一，我们所作的每一个设想是以精确的形式写出来

的，所以它是向一切检查和批评开放的。第二，在仔细检查、讨论和修订了这些设想以后，与当前我们最好的知识相一致，不管它们变得多么复杂，它们对这个世界系统的未来行为的影响可以用计算机毫无误差地验证。

我们感到，上述优点使这个模型在所有数学的和内心的世界模型中，成为今天唯一对我们有用的模型。但是，没有理由满足于它现在的形式，我们打算随着我们自己的知识和这个世界的资料基础的逐渐改善而改动、发展和改善这个模型。

尽管我们的工作是初步的，但我们相信，现在发表这个模型和我们的发现是重要的。每天在这个世界的每个部分都在做决策，它将影响世界系统今后几十年的物质条件、经济条件和社会条件。这些决策不可能等待完备的模型产生和总体的理解之后。无论如何，他们会根据某些模型，内心的或书面的模型来做出决策。我们感到，这里描述的模型已经充分发展，对决策者是有一定用处的。而且，我们在这个模型里已经观察到相当基本和具有普遍意义的行为方式，我们并不认为我们的主要结论会由于进一步修正这个模型而有实质性的改变。

对这个世界模型包括的所有资料和数学方程提供一个完全科学的描述，不是这本书的目的。这样一个描述可以在我们的方案，（在这本书中我们模型资料的细节和假设，以及计算机方程是由丹尼斯·L· 米都斯在《有限世界的动态增长》（Dynamics of growth in a Finite World）（Cambridge Mass: Wright-Allen Press,1974）中提供的。）最后的技术报告中找到。更确切地说，我们在《增长 的极限》中以简明的，非技术的方式总结了这个模型的主要特征和我们的发现。重要的不是这模型方程的错综复杂性，而 这模型把有关这个世界的什么告诉我们。我们已经用了一台计算机作为工具来帮助我们自己理解这种加速趋势的原因和结果，它是现代世界的特征。但是，要了解和讨论我们的结论，决不需要通晓计算机。这些加速趋势的影响，远远超出了纯科学文献的固有范围。它们必须由比单纯科学家的共同体更广泛的共同体来辩论。在这里我们的目的是开始这种辩论。

到目前为止，从我们的工作中已经得出了以下一些结论。但我们决不是阐明这些结论的第一个团体。在过去几十年中，用长期的全球观点来观察这个世界的人已经得到了类似的结论。然而，绝大多数政策制定者所积极地追求的目标，看来同这些结果是不一致的。

我们的结论是：

1．如果在世界人口、工业化、污染、粮食生产和资源消耗方面现在的趋势继续下去，这个行星上增长的极限有朝一日将在今后100年中发生。最可能的结果将是人口和工业生产力双方有相当突然的和不可控制的衰退。

2．改变这种增长趋势和建立稳定的生态和经济的条件，以支撑遥远未来是可能的。全球均衡状态可以这样来设计，使地球上每个人的基本物质需要得到满足，而且每个人有实现他个人潜力的平等机会。

3．如果世界人民决心追求第二种结果，而不是第一种结果，他们为达到这种结果而开始工作得愈 快，他们成功的可能性就愈大。这些结论是如此深刻，而且为进一步研究提出了这么多问题，以致我们十分坦率地承认已被这些必须完成的巨大任务所压倒。我们希望，这本书将适合于许多研究领域和世界上的许多国家，引起其他人的兴趣，提高他们所关心的事情的空间和时间的水平，和我们一起理解和准备 这个伟大的过渡时期，即从增长过渡到全球均衡。

今人有五子不为多，子又有五子， 大父未死而有二十五孙。是以人民众而货财寡，事力劳而供养薄。

——韩非子

这些研究报告所提出的人口、粮食生产、工业化、污染和不可再生的自然资源的消耗还在继续增长。每年它们以数学家称为指数增长的模式增长着。现在几乎所有的人类活动，从化肥的施用到城市的扩大，都可以用指数增长曲线（参看图2和3）来表示。由于这本书将大量涉及指数增长曲线的原因和含意，所以从理解它们的一般特征开始是很重要的。

指数增长的数学

大多数人习惯于以为，增长是一个线性的过程。当一个量在一个既定时间周期内按常量增长时，这个量才是线性增长。例如，一个孩子每年长高一英寸，就是线性增长。又如，一个吝啬鬼每年在他的床垫下藏十块美金，他秘藏的钱也是以线性方式增长的。每年增长的量显然不受孩子的大小，也不受已经在床垫下的钱数的影响。

世界化肥消耗是按指数增长的，大约十年时间翻一番。现在的使用总量比二次大战期间的五倍还多。

注意：图中不包括苏联和中华人民共和国。

来源：联合国经济和社会事务部，《 1955年统计年鉴》（ Statistical Yearbook 1955），1960年统计年鉴（Statistical Yearbook 1960）和《1970年统计年鉴》（Statistical Yearbook 1970）

（纽约：联合国，1956年、1961年和1971年）。

当一个量在一个既定的时间周期中，其百分比增长是一个常量时，这个量就显示出指数增长。例如，在一个酵母细胞群体中，每一个细胞每10分钟分裂为2个就属于指数增长，其增长率是100%。在下一个10分钟以后，就会有4个细胞。然后，8个、16个。如果一个吝啬鬼从他的床垫下取出100块美金，按年息7%投资（结果是总量的积累以每年7%的速度增长），这种投资的增长会比床垫下的贮存的线性增长快得多（参

看图4）。银行账簿上每年增加的数量或酵母群体每10分钟增加的数量不是常量。随着积累起来的总量增长，它在不断地增长。这种指数增长，对于生物系统、财政系统和这个世界的其他许多系统来说，是一种共同的过程。

城市人口总数在这世界的不发达地区预期按指数增长，但是在比较发达的地区几乎是线性的。现在，不发达地区的城市人口翻一番的平均时间是15年。来源：联合国经济和社会事务部，《1970年世界人口形势》（The World Population Situation 1970）（纽约：联合国，1971）。

如果一个吝啬鬼在他的床垫下每年藏10美元，他的储蓄如下面的曲线所示，将是线性增长。如果他把他的100美元按7％利息投资，在十年后这100美元就会按指数增长，翻一番的时间是十年。

在通常的情况下，指数增长可以产生惊人的结果——这种 结果许多世纪以来都使人类迷惑不解。有一个古老的波斯传说：有一个聪明的朝臣献给他的国王一个精美的棋盘，并请求国王给他在这棋盘的第一个方格上放一粒米，在第二个方格上放二粒，在第三个方格上放四粒，如此等等作为报答。国王立刻同意了，并下令从他的仓库里取米。这棋盘的第四个方格需要8粒，第十方格需要512粒，第十五方格需要16384粒，而第二十一个方格给这个朝臣的米超过100万粒。到第四十个方格必须从仓库里取出1万亿粒米。远在达到第六十四个方格以前国王储备的全部米粒都耗尽了。指数增长具有欺骗性，因为它很快就产生巨大的数量。

表1 加倍时间 增长率（每年％）加倍时间（年）

0.1700

0.5140

1.070

2.035

4.018

5.014

7.010

10.07

一个法国的儿童谜语说明了指数增长的另一个方面，即它可以突然地接近一个固定的极限。假定你有一个生长着一朵水百合花的池塘。这种百合属植物体积每天按2倍速度生长。如果允许这种百合属植物不受限制地生长，在30天里就会完全覆盖住这个池塘，闷死水中的其他生命形式。在很长的时间里，这种百合属植物似乎很小，所以直到它覆盖住这池塘的一半时，你决意不必为修剪它担心。这究竟有多少天呢？当然是二十九天。你还有一天来挽救你的池塘。（我们感谢M·罗伯特·莱塔告诉我们这个谜语。）

从加倍时间方面或者从一个变量规模上增加一倍所需要的时间方面来思考指数增长是有用的。就上述百合属植物来说，加倍时间是一天。按年息7%存放在银行里的货币将在十年中增加一倍。在利率或增长率同一个量规模加倍所要的时间之间有一个简单的数学关系。表1说明加倍时间近似地等于70除以增长率。

模型和指数增长

指数增长是一种动态现象。这就是说，它所包括的各种因素是随时间变化的。在简单的系统里，像银行账目或者百合属植物，指数增长的原因及其未来进程是比较容易理解的。可是，当许多不同的量在一个系统里同时增长时，以及当所有的量以复杂的方式相互联系时，分析这系统的增长原因和未来行为，确实变得很困难。人口增长引起工业化吗？或者工业化引起人口增长吗？这两个因素中单独一个应对增加污染负责呢？还是两个因素都应当负责呢？更多的粮食会造成更多的人口吗？如果这些因素中任何一个增长得较慢或较快，那么所有其他因素的增长率会怎样呢？今天世界上许多地方正在讨论这些问题。通过对构成全部复杂系统的全部重要因素的理解，答案是可以找到的。

最近30年中，在麻省理工学院已经发展了一种理解复杂系统的动态行为的新方法。这种方法叫做系统动力学。（在J·W·福雷斯特的《工业动力学》（Industrial Dynamics）和《系统原理》（Principles of Systems），（Cambridge,Mass:Wright-Allen Press,1968）中提出了系统动力学分析方法的详细描述。）这种方法的基础是认识到任何系统的结构的组成部分之间，都存在着许多循环的、连锁的，有时滞后的关

系。这种结构在决定其行为时，常常像个别组成部分本身一样重要。这本书中描述的世界模型就是一个系统动力模型。

动态模型指出，任何按指数增长的量，以某种方式包含了一种正反馈回路。正反馈回路有时叫做“恶性循环”。大家熟悉的工资—价格螺旋就是一个例子，工资增加引起价格增加，价格增加又导致更高工资的要求，等等。在正反馈回路中，因果关系的链条本身是封闭的，以致增加回路中的任何一个因素，都会引起一系列变化，结果使最初变化的因素增加得更大。

正反馈回路就是货币在银行账目上按指数增长的原因，可以表示如下：

假定在账目上存了100美元。第一年的利息是100美元的7%，或者7美元，加在账目上，总数成为107美元。第二年的利息是107美元的7%，或者7.49美元，使新的总数成为114.49 美元。一年以后，这总数的利息将超过8美元。账目上的货币愈多，每年加上的利钱就愈多。加上的利钱愈多，下一年账目上的货币也就愈多，从而引起利钱增加得更多，等等。当我们环绕着回路一圈又一圈地走时，账目上积累起来的货币在按指数增长。利率（按7%不变）决定着环绕这回路的所得，或者说银行账目按利率增长。

我们已经提到过五个物理量按指数增长的基础是正反馈回路，我们可以通过寻找这种正反馈回路，开始对这世界的长期形势进行我们的动态分析。这些因素中有两个因素——人口和工业化的增长率令人感兴趣，因为许多发展政策的目标是鼓励工业人口按比例增长。这两个基本的正反馈回路说明，人口和工业按指数增长在原理上是简单的。我们在下面几页将描述它们的基本结构。在这两个正反馈回路的行动之间有许多相互联系，增强或削弱回路的作用，使人口和工业的增长率结合或分离。这些相互联系构成这个世界模型的其余部分，对它们的描述，将占据这本书其余部分的许多篇幅。

世界人口自1650年以来已经按一定的增长率作指数增长。1970年人口估计已经比这里说明的预测略高一些（这个预测是在1958年做的）。现在的世界人口增长率每年大约是2.1%，33年时间翻一番。

来源：唐纳德·J·博格，《人口统计学原理》（Principlcs of Demography）。（New York:John Wiley and sons,1969。）

世界人口增长

图5表示世界人口的指数增长曲线。1650年人口数量大约是5亿，增长率约为每年0.3%，也就是说，将近250年翻一番；1970年人口总数是36亿，增长率是每年2.1%。按这个增长率相当于33年翻一番。因此，不仅人口在按指数增长，而且增长率也在增长。我们可以说，人口增长已经“超”指数了，人口曲线甚至比严格按指数的增长上升得更快。

表示人口增长的动态行为的反馈回路结构如下：

左边是正反馈回路，从中可以观察到指数增长的原因。人口越多，每年出生的婴儿也更多。婴儿越多，第二年的人口将越多。经过一段时间，这些婴儿长大，并且成为父母，会出生更多婴儿，人口仍进一步膨胀。只要平均出生率保持不变，就会继续稳定增长。例如，如果除儿子以外，每个妇女平均有两个女儿，每个女儿长大后，又有两个以上女儿，每一代，人口就会翻一番；出生率将取决于平均出生率和代与代之间的时间长度。出生率当然不一定是常量，在第三章中我们将讨论引起出生率变化的某些因素。

还有一种反馈回路控制着人口增长，如前图右边所示。这是一种负反馈回路。正反馈回路产生失去控制的增长，而负反馈回路则有助于调节增长，并使这一系统保持在某种稳定状态之中。它们的行为很像一个恒温器在控制室温时的行为。如果温度降低，恒温器就把加热系统开动起来，使温度重新升高。当温度达到界限时，恒温器就截断加热系统，温度又开始降低。在负反馈回路中，一个因素的变化是环绕着这个圆圈传播的，直到这个因素回到与最初的变化相反的方向为止。

这个负反馈回路控制人口，是以平均死亡率为基础的。负反馈回路还能反映人口的一般健康状况。每年死亡人数等于总人口乘以平均死亡率（我们可以认为平均死亡率是在任何年龄死亡的平均概率）。

人口在规模上增大，而平均死亡率不变，其结果将是每年有更多的人死亡。更多的人死亡会在人口中剩下较少的人，因此，第二年死亡的人也会较少。如果每年平均有人口的5%死亡，那么1万人口中每年就会有500人死亡。假定暂时没有出生，第二年就会剩下9500人。如果死亡的概率仍然是5%，在这较少的人口中只会有475人死亡，剩下9026人，第二年只会有452　人死亡。而且，在这种反馈回路中有滞后的事例。因为死亡率是人口的平均年龄的函数。当然，死亡率甚至在特定年龄上也

不一定是不变的。

如果人口中没有死亡，由于出生的正反馈回路，人口就会按指数增长。如下图所示。

如果没有出生，因为死亡的负反馈回路，人口就会下降到零。如下图所示。由于人口实际上经历着出生和死亡，以及变化着的出生率和死亡率，由这两个互相连锁的反馈回路控制人口的动态行为就可能变得很复杂。

是什么引起最近世界人口的超指数增长呢？在工业革命以前，出生率和死亡率都比较高，而且不规则。出生率一般只是略超过死亡率，人口按指数增长，但是速度很慢，并且不稳定。在1650年，世界大多数人口的平均寿命在30岁左右。从那时以来，人类许多实践活动的发展，对人口的增长系统，尤其是对死亡率，产生了深刻的影响。随着现代医学、公共卫生技术，以及粮食生产和分配的新方法的传播，全世界的死亡率已经下降。估计现在世界平均寿命大约是53岁，而且还在上升。按世界平均计算，当环绕负反馈回路（死亡率）的所得在减少的同时，环绕正反馈回路（出生率）的所得却只有少量减少。结果是正反馈回路的优势增长和出现，如图5所示人口按指数急剧增长。

未来的人口会怎么样？进入21世纪，我们应当怎样延伸图5中的人口曲线呢？在第三章和第四章中，对这个问题，我们会有更多的说明。目前，我们可以有把握地断定，因为在控制的反馈回路中，特别是在正反馈回路中，存在滞后现象，这样即使对出生率下降有最乐观的设想，在2000年以前，人口增长曲线也不可能达到平衡。2000年的未来父母，大多数已经出生。我们可以预期，在30多年以后，世界人口大约是70亿。要避免这种情况，除非死亡率急剧上升，而人类当然要力求避免这一点。而且，如果我们在降低死亡率方面继续成功，而在降低出生率方面没有取得比我们过去已经达到的更大的成就，在60年以后，世界人口将是今天活着的人的4倍。

世界经济增长

在世界上，工业产量是甚至比人口增长得更快的另一个数量。图6以1963年的产量作为参照基础，表示自1930年以来　　世界工业生产的发展，从1963年到1968年的年平均增长率是 7%，或者以人均为基础每年5%。

世界工业生产，以1963年为基础，也显示出清楚的指数增 长，尽管有微小的起伏。1963 - 1968年总产量的平均增长率是每年7%。人均增长率是每年5%。

来源：联合国经济和社会事务部，《1956年统计年鉴》（Statistical Yearbook 1956）和《1969年统计年鉴》（New York：United Nations，1957，1970）。

什么是工业产量按指数增长的正反馈回路？下面图示的动态结构，实际上同我们已经描述的人口系统动态结构很类似。

特定的工业资本（工厂、卡车、工具、机器等等），每年可以制造出一定数量的产品。实际生产的产品也依赖于劳动力、原料和其他投入。目前我们要假定其他投入是充分的，结果资本是生产中的限制因素（这个世界模型确实包括其他投入）。每年的产品有许多是消费品，例如纺织品、汽车和房屋，都会离开工业系统。但是，产品的某些部分，例如织机、轧钢机、车床，都是附加资本，属于一种增加资本储备的投资。在这里，我们有另一个正反馈回路。更多的资本造成更多的产品，产品的某些可变部分构成投资，而更多的投资意味着更多的资本。这个新的更大的资本储备，又产生更多的产品，等等。在这个反馈回路中也有滞后的事例，因为较大的工业资本的部门的建设需要好几年，发电厂或炼油厂就是这样。

资本储备不是永久的。当资本耗尽或者变得过时的时候，它就被抛弃了。要为这种情况做模型，我们必须把一个负反馈回路引进资本系统，以说明资本的折旧。资本越多，每年平均损耗也越多；而损耗越多，第二年资本就会越少。这个反馈回路同人口系统中的死亡率回路恰好是类似的。就像在人口系统中一样，正反馈回路强有力地支配着今天的世界，而且这世界的工业资本储备也是按指数增长的。

由于工业产量是按每年7%增长，而人口只按每年2%增长，占优势的正反馈回路看来似乎可以是令人振奋。对这些增长率的简单外推，表明世界人民物质生活标准将在今后14年中提高一倍。可是，这样一个结论往往包含着世界工业产量的增长在世界公民中间是平均分配的暗含的假定。当检查个别国家的人均经济增长率时，便可以看清这个假设的误谬（参看图7）。

人均国民生产总值（每人每年美元数）

个别国家的经济增长指出，指数增长率的差距在扩大富国和穷国之间的经济差距。来源：西蒙·库兹涅茨：《各国的经济增长》（Economic Growth of nations)(Cambridge,Mass:Harvardl University Press,1971）

图6中标绘的世界工业增长，大多数实际上是在已经工业化的国家里发生的。在这些国家里人口增长率比较低。

对世界上人口最稠密的十个国家的经济增长率和人口增长率列一张简单的表格，就可以使这个事实得到明显的说明。这十个国家里，现在生活着世界人口的64%。表2为“富人变得更富，穷人得到更多的孩子”这种说法提供了一个清晰的根据。

到本世纪末，表2中列出的增长率未必会继续不变。在今后30年中，许多因素会改变。例如，尼日利亚内乱的结束，可能会增加那儿的经济增长率，而巴基斯坦内乱的开始和随之而来的战争已经妨碍了那儿的经济增长。无论如何，让我们认识到，上面列出的增长率是一个复杂的社会和经济系统的产物，除了发生严重的社会混乱以外，基本上是稳定的，其变化很可能是缓慢的而不是迅速的。

表2 经济增长率和人口增长率 国家人口

（1968）

（百万）人口增长率

每年平均

（1961-1968）

（每年%）人均GNP

1968）

（美元）人均GNP增长率

每年平均（1961 - 1968）

（每年%）

中华人民共和国7301.5900.3

印度5242.51001.0

苏联2381.311005.8

美国2011.439803.4

巴基斯坦1232.61003.1

印度尼西亚1132.41000.8

日本1011.011909.9

巴西883.02501.6

尼日利亚632.470-0.3

德意志联邦共和国601.019703.4

建设和发展国际银行用如下声明对中国和苏联的估计数作了限制：“对人均国民生产总值及其增长率主要因为由纯物质产品按成本因素推算国民生产总值的估计数，以及把国民生产总值估计 数换算成美元等问题，而有界限很宽的误差。”联合国估计数同建设和发展国际银行的估计数一般说是一致的。

来源：《世界银行图表集）（World Bank Atlas）（Washington,DC: International Bank for Reconstruction and Development, 1970）

假定人口增长率和国民生产总值的增长率在这十个国家里将大致上保持不变，计算从现在到2000年人均国民生产总值（GNP）的外推值，是一个简单的算术问题。计算的结果见表3。表上所示的值，实际上几乎肯定不会实现。它们不是预测。这些值仅仅指出我们的系统按目前的结构，所能达到的一般方向。这些值表明，经济增长的过程，正如今天事实上发生的，正在无情地扩大着这世界上的富国和穷国之间的绝对差距。

许多人直觉地和正确地拒绝像表3所示的那些外推值，因为这个结果似乎是可笑的。可是，必须认识到，一个人在拒绝外推值时，也在拒绝在这个系统中将没有变化的假定。如果表3上的外推值实际上没有实现，这将是因为在每一个国家里决定人口和资本的增长率的正反馈回路和负反馈回路之间的平衡已经改变了。出生率、死亡率、资本投资率、资本折旧率中任何一个或者全部都可能改变。一个人在假定不同于表3所示的结果时，必须详细说明，这些因素中哪一个很可能改变，改变多少和什么时候改变。这些问题恰好是我们用我们的模型提出的问题，不是以一国为基础，而是以全球为基础。

表3　为2000年外推的国民生产总值　国家人均国民生产总值（美元*）

中华人民共和国100

印度140

苏联6330

美国11000

巴基斯坦250

日本23200

巴西440

尼日利亚60

德意志联邦共和国5850

*根据1968年美元，没有通货膨胀的折扣。

要以任何程度的现实主义对人口和工业资本未来的增长率作推测，我们必须知道这世界上的其他同人口 - 资本系统有相互作用的因素。我们将从提出一系列很基本的问题开始。

这个世界能在物质上支撑表3中提出的人口和资本的增长　率吗？这个地球可以供养多少人？在什么财富水平上供养？能供养多久？要回答这些问题，我们必须详细调查世界上为人口增长和经济增长提供物质支

持的那些系统。

你们哪一位想要造塔，首先不要坐下来，要计算费用，看是否有造成塔的足够本钱。

——《路加福音》14:28

支持世界经济和人口增长直到2000年，甚至2000年以后将需要什么？必需的组成因素表是很长的，但是可以粗略地将它分为两大类。

第一类包括维持所有生理活动和工业活动所需要的物质的必需品：粮食、原料、矿物燃料和核燃料，以及这个行星上吸收废料，并使重要的基本化学物质再循环的生态系统。这些组成因素原则上是有形的，属于可以计算的项目。例如，可耕地、淡水、金属、森林、海洋。在这一章里，我们将估计这些物质资源的世界贮存，因为它们最终决定这个地球的增长极限。

增长所必需的第二类是由社会必要因素构成的。即使地球的物质系统能支持大得多的、经济上更加发达的人口，但是，实际上经济和人口的增长还要依赖于诸如和平和社会稳定、教育和就业，以及稳定的技术进步等因素。要估计和预测这些因素更加困难得多。这本书和我们现阶段的世界模型还不能明确地处理这些社会因素，这是因为我们关于物质供应量及其分布的信息还不能指出未来社会可能面临的问题。

粮食、资源和健康的环境，是增长所必需的条件，但不是充分的条件。即使他们是丰富的，增长也可能由于社会问题停下来。不过我们可以暂时假定，最好的社会条件将普遍出现。那么，这物质系统能维持多大的增长呢？我们的答案会提供关于人口增长和资本增长的上限的一些估计数，但不能保证增长实际上会达到的那个程度。

粮食

在非洲的赞比亚，每出生1000个婴儿中，有260个在第一个生日前死亡。在印度和巴基斯坦，比率是140 ‰；在哥伦比亚是82‰。更多的儿童在他们达到学龄前死亡；另外一些则在刚上学的最初几年中死亡。

在穷国中发给学龄前幼儿的死亡证明书表明，导致死亡一般是由麻疹、肺炎、痢疾，或其他一些疾病。事实上，这些儿童更可能是营养不

良的牺牲品。

没有一个人确切地知道，目前世界上营养不足的有多少人。但是，普遍同意，数量是很大的，也许占工业不发达国家 人口的50到60%，也就是世界人口的1／3。联合国粮农组织（FAO）的估计数表明，在大多数发展中国家里，并没有满足基本的热量需要，特别是蛋白质的需要（参看图8）。此外，虽然世界农业生产总量在增加，而在非工业化国家里人均粮食生产只勉强地维持现在的不充分的水平上（参看图9）。这些颇为令人发愁的统计数字是否意味着已经达到了地球上粮食生产的极限呢？

每天的蛋白质和热量要求，世界上大多数地区中现在不能达到。分配不平等不仅在地区之间存在（如图8所示），而且在各地区内部也存在。根据联合国粮食及农业组织的资料，最严重的缺粮地区包括“安第斯山脉国家、非洲和近东的大片大片半干旱土地，以及亚洲的某些人口稠密的国家”。表示热量和蛋白质需要的线，是为北美洲人估计的。这里假定如果其他地区中的饮食足够，使人达到全部可能的体重，蛋白质和热量的要求应各处相同。

资料来源：联合国粮食及农业组织：《关于农业发展的临时象征性世界规划》（Provisional Indicative World Plan for Agriculture Development）（Rome:UN Food and Agriculture Organization,1970）。

世界非工业区地区粮食生产总量像人口一样，大致按同样速度上升。因此，人均粮食生产在低水平上几乎保持不变。

来源：联合国粮食与农业组织，《1970年粮食和农业的状况（The state of Food and Agriculture）（Rome:UN Food and Agriculture Organization，1970）。

生产粮食所需要的首要资源是土地。最近的研究指出，地球上适合于农业的土地，大约最多有32亿公顷（78.6亿英亩）（译者注：l公顷＝100公亩或2.471英亩或15市亩。l英亩 = 40.47公亩或 6.07市亩。）。目前，最富饶的大多数可以生产粮食的土地，约占总数一半，已经耕种。其余土地在准备为生产粮食以前，需要投入大量资本，加以清除、灌溉，或者施肥，才能生产粮食。最近，开垦新土地的费用每公顷在215到5275美元不等。在荒无人烟的地区开垦土地，平均费用是每公顷1150

美元。按照粮农组织的一份报告，即使目前世界上迫切需要粮食，开垦更多的土地进行耕作，在经济上也不是可行的：

在南亚，……在东亚，近东和北非的一些国家里，以及在拉丁美洲和非洲的某些部分，……几乎没有扩大可耕地面积的余地。……在比较干旱的地区，把边远的和不值得开垦的土地恢复为永久性的牧场是必要的。在拉丁美洲和非洲撒哈拉沙漠南部的大部分地区，扩大耕作面积的可能性仍旧很大。但是，开发费用很高，加强利用已经定居的地区，往往比较经济。

如果世界人民真的决定付出很高的资本费用，来耕种一切可耕地，并生产尽可能多的粮食，在理论上可以养活多少人呢？假定现在世界平均每人0.4公顷就够了（按美国现在的标准，来养活全世界人口，每人需要0.9公顷），要养活增长着的世界人口所需要的土地总量由图10下面的曲线表示。图10上面的曲线表示随着时间的推移，可以利用的可耕地的实际数量。这条线向下倾斜的原因在于，每增加一个人，需要一定数量土地（这里假定每人0.08公顷）（从1950 - 1960年对美国西部44个县的空中测量指出，有建筑物的土地每人从0.008到0.174公顷不等。）用于住房、道路、堆放废物、架设电线和其他用途。这一切主要“密布”在可耕地上， 并且即使人均土地需要和人口增长率保持目前的水平，在2000年以前，土地的短缺不足仍然是极为严重的。

世界提供的可耕地数大约是32亿公顷。按现在的生产能力 所需要的可耕地大约每人0.4公顷。因此所需要的土地的曲线反映出人口增长曲线。1970年以后的细线表示，假定世界人口继续按现在的速度增长计划所需要的土地。可以利用的可耕地减少是因为随着人口增长，可耕地被用于城市工业。虚线表示，如果现在的生产能力翻一番或者翻两番所需要的土地。

图10也说明指数增长在有限空间内的某些很重要的和普遍的事实。首先，它表明，可耕地怎样在很少几年内从极其富裕的状况变为极其缺乏的状况。在全部历史上，潜在的可耕地过剩曾经占压倒优势，而现在，在30年间（或者在人口翻一番的时间内），可能突然发生严重的不足，就像我们在第一章 中举出的百合花池塘主人的例子一样，人类可能只有很短的一 段时间对有限空间中的指数增长结果作出反应。

从图10得到的第二个教训是，当我们观察无情的指数增长过程时，对地球的极限做出精确的数字上的假定并不重要。例如，我们可以假

定，城市、道路，或其他非农业用途并不占用可耕地。在这种情况下，可用的土地是常量，如水平破折线所示。两条曲线的交点推迟了大约十年。或者，我们可以设想，由于农业技术的进步和资本的投入，例如投入拖拉机、化肥和灌溉系统，土地的生产能力有可能翻一番，甚至翻两番。图10中的两条虚线表示关于增加生产能力的两个不同假设的结果。生产能力每翻一番，大约需要30年，或者少于人口翻一番所需的时间。

当然，社会不会由于“危机点”而突然感到意外，在“危机点”上，需要的土地数量变得大于可用的土地数量。在达到这危机点以前很久，危机的征兆就开始出现。粮食价格会涨得这么高，以致有些人会买不起而挨饿；其他人会被迫减少他们所利用的土地的实际数量，并且改吃质量较低的饮食。这些征兆在世界的许多部分已经很明显。虽然图10表明，现在只有一半土地在耕作，可是每年大概有1000到20000万人的死亡可以直接或间接地归因于营养不良。

毫无疑问，许多人死亡，是由于这个世界的社会因素的限制，而不是物质的因素。然而，在粮食生产系统中，这两种限制因素之间显然有联系。如果肥沃的好地仍然很容易获得，并便于耕作，要养活饥饿的人，就不会有经济上的障碍，而且也没有做出社会选择的困难。可是，世界上现存可耕地中，有一半最好的土地已经在耕作了，而且开垦新土地已经如此昂贵，以致社会已经判定它“不经济”。这是一个被物质上的限制因素加剧了的社会问题。

图10表明，即使社会真的决定付出必要的代价，来获得新土地或增加现有耕地的生产能力，上升过快的人口也会带来另一个“危机点”。要克服每一个相继的危机问题需要付出更大的代价。土地收获量每翻一番会比上一次更加昂贵。我们可以把这种现象叫做成本增加定律。这个定律的最好的和最合理的例子来自对过去农业收获的成本进行评估。世界粮食生产从1951年到1966年增加34%，农场经营者在拖拉机上的支出每年增加63%、在氮肥上的投资每年增加146%、农药的使用每年增加300%。显然，下一次增加34%，需要投入更多的资本和资源。

在这个地球上可以养活多少人？对这个问题当然没有简单的答案。答案是基于社会在各种可供选择的方案中的抉择。人类需要和希望生产更多的粮食与生产其他商品和服务之间不能兼顾，要直接做出权衡。对这些商品和服务的需要，也随着人口增长在增加。因而，要解决这种权衡明显地变得更加困难。即使一致选择粮食生产有首要的优先权，可是，人口不断增长和成本增加定律，能驱使这系统迅速地把一切可用的

资源都贡献给粮食生产，而不留下进一步扩大的可能性。

我们在这一节里已经讨论过的只是粮食生产的一个可能的限制因素：可耕地。篇幅不允许我们在这里详细地讨论其他可能的限制因素。一个最明显的，其重要性仅次于土地的限制因素是可用的淡水。每年地球上陆地部分的淡水流量是有上限的，但是，对淡水的需求却是按指数增加的。我们可以画一张与图10很类似的图表，表示对淡水的日益增加的需求曲线接近恒定的平均供水量。在世界的某些地区，淡水的制约作用会比土地的制约作用来得更早。

靠技术进步来代替对土地的依赖（合成粮食）或创造淡水的新资源（海水淡化）也可能避免或扩大这些限制。我们将在第四章中进一步讨论这些发明。目前要明确，没有一项技术是自发的或者不付代价就够了的。生产合成粮食的工厂和原料，淡化海水的设备和能源，这一切都来自这个物质世界系统。

现在，对粮食的需求按指数增长是直接根源于决定着人口增长的正反馈回路。预测将来粮食供应取决于土地和淡水，也取决于农业投资，而农业投资又取决于这系统中其他占优势的正反馈回路——资本投资回路。开垦新土地、开发海洋，或推广利用化肥和农药，都需要增加粮食生产的资本储备。有助于增加这种资本储备的资源，不是像土地和淡水那样的可再生的资源，而是像燃料和金属那样的不可再生的资源。因此，将来扩大粮食生产主要依赖于可以得到的不可再生资源。地球对这些资源的供应有限度吗？

不可再生的资源

现在，即使考虑到，随着可利用资源减少而涨价这样一些经济因素，（铂、金、锌和铝的数量似乎都不足以应付需求。按现在的发展速度，……银、锡和 铀到本世纪末即使按更高的价格也可能供应不足。如果现在的消费率继续下去，到2050年，更多的矿物可能耗尽。）

尽管近来有引人注意的发现，只剩下有限数量的地方可寻找大多数矿物了。地质学家们否定关于找到大的、新的、富矿矿床的前景。从长远来看，对这样一些发展持有信心是不明智的。

表4 不可更新的自然资源

资源已知的世界储藏量a固定的指标（年数）b估计增长率（每

年%）c高、平均、低指数的指标（年数）d指数的指标（计算出的）用5倍于已知的储藏量（年数）e储藏量最高国家或地区（世界总量%）f主要生产者（世界总量%）g主要消费者（世界总量%）h美国消耗量占世界总数%i

铝1.17X109吨j1007.7 6.4 5.13155澳大利亚（33）

几内亚（20）

牙买加（10）牙买加（19）

苏里南（12）美国（42）

苏联（12）42

铬7.75X108吨4203.3 2.6 2.095154南非共和国（75）苏联（30）

土尔其（10） 19

煤5X1012吨23005.3 4.1 3.0k111150美国（32）

苏联－中国（53）苏联（20）

美国（13） 44

钴4.8X109磅1102.0 1.5 1.060148刚果共和国（31）

赞比亚（16）刚果共和国（51） 32

铜308X106吨365.8 4.6 3.42148美国（28）

智利（19）美国（20）

苏联（15）

赞比亚（13）美国（33）

苏联（13）

日本（11）33

黄金353X106英（两）金衡 114.8 4.1 3.4l929南非共和国（40）南非共和国（77）

加拿大（6） 26

铁1X1011吨2402.3 1.8 1.393173苏联（33）

南美（18）

加拿大（14）苏联（25）

美国（14）美国（28）

苏联（24）

西德（7）28

铅91X106吨262.4 2.0 1.72164美国（39）苏联（13）

澳大利亚（13）

加拿大（11）美国（25）

苏联（13）

西德（11）25

锰8X108吨973.5 2.9 2.44694南非共和国（38）

苏联（25）苏联（34）

巴西（13）

南非共和国（13） 14

汞3.34X106铁箱（每箱76磅）133.1 2.6 2.21341西班牙（30）

意大利（21）西班牙（22）

意大利（21）

苏联（18）　24

钼10.8X109磅 795.0 4.5 4.03465美国（58）

苏联（20）美国（64）

加拿大（14）　40

天然气 1.14X1015立方英尺385.5 4.7 3.92249美国（25）

苏联（13）美国（58）

苏联（18）　63

镍 147X109磅1504.0 3.4 2.85396古巴（25）

新喀里多尼亚（22）

苏联（14）

加拿大（14）加拿大（42）

新喀里多尼亚（28）

苏联（16）　38

石油455X109桶314.9 3.9 2.92050沙特阿拉伯（17）

科威特（15）美国（23）

苏联（16）美国（33）

苏联（12）

日本（6）33

类白金m429X106英两（金衡）　1304.5　3.8　3.14785南非共和国（47）

苏联（47）苏联（59）　31

白银5.5X109英两（金衡） 164.0 2.7 1.51342共产主义国家（36）

美国（24） 加拿大（20）

墨西哥（17）

秘鲁（16） 美国（26）

西德（11） 26

锡4.3X106长吨172.3 1.1 01561泰国（33）

马来西亚（14） 马来西亚（41）

玻利维亚（16）

泰国（13） 美国（24）

日本（14） 24

钨2.9X109磅 402.9 2.5 2.12872中国（73）中国（25）

苏联（19）

美国（14） 22

锌123X106吨233.3 2.9 2.51850美国（27）

加拿大（20） 加拿大（23）

苏联（11）

美国（8） 美国（26）

日本（13）

苏联（11） 26

a)资料来源：美国矿务局（US Bureau of Mines），《矿产的实际情况和问题，1970年）（Mineral facts and problems，1970）（Washington，DC：Government Printing office，1970）。

b)按目前全球的消耗率已知的全球储藏量能维持的年数。计算方法：已知全球储藏量（第2栏）除以目前每年消耗量（美国矿务局，《矿产的实际情况和问题，1970年》）。

c)资料来源：美国矿务局，《矿产的实际情况和问题，1970年》。

d)已知全球储藏量能维持的年数，如果消耗量按平均每年增长率指数地增长。用下列公式计算：

指数的指标 = (lu(r*s) + 1)/r 或中 r＝平均增长率（第4栏）

s＝固定指标（第3栏）

e)五倍于已知全球储藏量将维持的年数，如果消耗量按平均每年增长率指数地增长。用上述公式计算，但以5s替代s。

f)资料来源：美国矿务局，《矿产的实际情况和问题，1970年》。

g)资料来源：联合国经济和社会事务部（UN Department of Economic and social Affairs），《统计年鉴，1969年》（Statistical Yearbook 1969）（New York：United Nations，1970）。

h)资料来源：《美国金属统计局：1970年年鉴）（Yearbook of the American Bureau Of Metal statistics）（York，pa：Maple Press，1970）。

《世界石油报告》（World Petroleum Report）（New York：Mona Palmer Publishing，1968）。

联合国欧洲经济委员会（UN Economic Commission for Europe）：《铁矿砂的世界市场》（The World Market for Iron Ore）（New York；United Nations，1968）。 美国矿务局，《矿产的实际情况和问题，1970年》。

i)资料来源：美国矿务局，《矿产的实际情况和问题，1970年》。

j)铝矾土作为铝的同等物包括在内。

k)美国矿务局意外事故预测，根据假设要用煤制造合成气和液体燃料。

l)包括美国矿务局对用于贮藏的黄金的需求的估计。

m）白金类金属是白金、钯、铱、锇、铑和钌。

其他来源：

P.T.弗劳恩：《矿物资源）（Mineral Resources）（Skokie，III.：Rand McNally，1966，）。

《金属统计》（Metal Statistics）（Somerset，NJ：Amreican Metal Market Company，1970）。

美国矿务局，《商品资料概要》（Commodity Data Summary）（Washington，DC：Government Printing Office，January，1971）。

表4列出一些对当代主要工业过程是必不可少的原料，主要是比较重要的矿物资源和能源资源。每一种资源在第3栏中的数字是静态储量指标，或按现在的利用率这种资源现在已知的储量（列入第2栏）能维持的年数。这种静态指标是按常规用来表示未来可用资源的量度。静态指标的基础是几个假定，其中之一是利用率保持不变。

但是表4中第4栏表明，每一种自然资源的世界利用率是按指数增长的。就许多资源来说，利用率的增长甚至比人口的增长还快，它指出每年有更多的人在消耗资源，而且也指出每年每人平均消费量也在增长。换句话说，资源消费量的指数增长曲线是由人口增长和资本增长的正反馈回路推动的。

我们在图10中已经看到，土地利用方面的指数增长很快碰上固有的可用土地数量的限制。资源消耗方面的指数增长也能以同样的方式减少资源的固有的贮存。图11同图10一样，说明一种最初有一定数量的不可再生资源的消耗量按指数增长的结果，铬矿是在这种情况下选用的例子，因为在表4中列出的所有资源中，铬有最大的静态储量指标。我们可以为此表中列出的每一种资源画一张类似的图表。各种资源的时间尺度可以不同，但这曲线的一般形状会是相同的。

铬的世界已知储量大约是77500万公吨，其中现在每年开采大约185万公吨。因此，按当前的利用率，已知储量大约能维持420年。图11中的破折线说明，假定消费不变，预期储量会按线性耗尽。可是，铬的真

正的世界消费率每年按 2.6%在增长。图11中的曲线表明，如果这种增长率继续下去，这种资源储备会怎样耗尽，不是像线性假设所指出的在420年中耗尽，而是在95年中耗尽。如果我们假定还没有发 现的储量能使现在已知的储量增加五倍，如虚线所示增加五倍，也只能把储量的寿命从95年延长到154年。即使从1970 年起，可以使铬100%再循环（水平线），因而最初的储量一点也不损失，在235年中需求也会超过供应。

已知铬储量的寿命依赖于铬的未来利用率。如果利用状态保持不变，储量会按线性耗尽（破折线），并将维持420年。如果利用状态按现在以每年2.6%的增长率呈指数增长，储量将 在95年中耗尽。如果实际的储量是现在已经证明的储量的五倍，铬矿就可以用154年（虚线）。假定利用状态按指数增长，即使所有铬都可以再循环，从1970年开始，在235年以后（水平线），按指数增长的需求也会超过供给。

图11表明，资源消费量在指数增长条件下，这个静态储量指标（就铬而言是420年）是可以得到的资源的相当使人误解的量度。我们应当规定一个新指标，一个“指数储量指标”，这个指标给每一种资源提出可能有的寿命，并假定在消费量方面，现在的增长率会继续下去。我们已把这个指标包括在表4 第5栏里。假定我们现在已知的每一种资源的储量，可以由于新的发现而扩大五倍，我们也已经把指数指标计算出来了。这个指标列入第6栏。例如，指数增长的作用，导致铝的可利用时期从100年减少到31年（由于储量增加五倍是55年）。铜，按现在的利用率有36年寿命，按现在的增长率实际上只能维持21年，如果储量增加五倍，则是48年。现在，大规模经济增长以这些原料为基础的时间长度，由于按指数增长的利用率而缩短，这是很清楚的。

在今后几十年中，实际上可以得到的不可再生的资源，当 然是由此可以用简单的静态储量指标或指数储量指标表示的因 素更加复杂得多的各种因素决定的。我们已经用一个详细的模 型研究了这个问题，考虑到这些因素中的许多相互关系，如变 化着的矿石等级、生产成本、新的采矿技术、消费需要的弹性 和其他替代资源，等等（威廉·w·贝伦斯第三的论文对这个模型提出了更加完备的描述，已列入 附录。）。对这个模型的一般结论说明如下。

一种资源（铬）有400年静态储量指标，这张图对可以得到的铬的经济因素用计算机做了计算。即使开采技术和加工技术也在按指数增长，由于成本随着最初的储量耗尽而上涨，消费量方面的指数增长终于停止了。在125年以后，利用率降落到零。在这一点上，原有用途60%已由

其他资源代替。

来源：威廉·w·贝伦斯第三，《利用自然资源的动力学》　　（The Dynamics of Natural Resource Utilization），见丹尼斯·L·米都斯 和唐纳·H·米都斯：《走向全球平衡》（Toward　　Global　　Equilibrium）（Combrige，Mass:Wright Allen Press，1973）

一种资源，例如铬，在1970年有400年静态储量指标，图12是一张计算机绘制的图，指出未来可以得到的铬。水平轴是按年代的时间；垂直轴指出几个量，包括储量（标明的储量），每年利用量（利用率），每单位资源的开采成本（实际成本），采矿和加工技术的进步（由T指出），以及原来利用这种资源已为其他资源替代的那一部分（F）。

最初，铬的年消费量呈指数增长，资源储备迅速耗尽。铬的价格保持低水平而且不变，因为采矿技术容许有效地利用品　　位越来越低的矿石。可是，需求继续增加，技术进步虽快，但不足以抵消上升着的发明、开采、加工和销售费用。价格最初是慢慢地，然后很快上涨。更高的价格促使消费者更有效地利用铬，每当可能时，就用其他金属来代替铬。在125年以后，剩下的大约原有供应量5%的铬可用，成本高得使人不敢问津，新的供应的开采基本上已趋于零。

关于未来利用铬的比较现实的动态假定所产生的寿命可能是125年，它比根据静态假设（400年）计算出来的寿命短得多。但比根据指数增长不变的假设计算出来的寿命要长（95　年）。利用率在这个动态模型中既不是不变也不是连续增长，而是钟形的，有增长阶段和下降阶段。

如果在1970年发现这种资源的已知储量翻了一番（静态储量指标800年），利用率方面的指数增长延长了，而且利用率达到很高的值。可是，在利用率处于高峰期间，储量很快就耗尽了。在这种情况下，即使储量翻一番，其结果不是资源寿命增加一倍，而是仅仅使它从125年延长到145年。

来源：威廉·w·贝伦斯第三，《利用自然资源的动力学》　　（The Dynamics of Natural Resource Utilization）。

图13所示计算机运算，说明1970年发现剩下的已知铬储量翻一番的结果。1970年的静态储量指标是800年，而不是400年。作为这个发现的结果，成本低，保持得长久一点，所以指数增长可以比图12中持续得更

长久。在此期间，这种资源的利用在经济上是可行的，持续时间已从125年增加到145年。换句话说，储量翻一番，使用周期实际上只延长了20年。

地壳含有大量原料，人类已经学会开采这些原料，并转化为有用的东西。不过，原料的量也许很大，但不是无限的。现在我们已经看到，一个按指数增长的量多么突然地接近确定的上限。下述声明不应使人感到意外：在目前，既定的资源消费率增长的规律中，从现在起大多数很重要的不可再生的资源在 100年中会是极其昂贵的。只是对资源的需求继续按指数增长，尽管对尚未发现的储量、技术进步、代用品或者再循环等等有最乐观的设想，上述声明仍然是正确的。那些静态储量指标最少的资源的价格已经开始上涨。例如，汞的价格在最近 20年中，已经涨了500%；铅的价格在最近30年中，已经涨了300%。

因为资源储藏和资源消耗在全球都不是平均分布的，我们由于考虑世界资源的总储量所得出的简单结论，进一步复杂化了。表4最后四栏清楚地表明：工业化消费国的工业基础严重地依赖国际协定网络供应它们原料。由于剩下的储量变得集中于更加有限的地理范围之中，又由于资源一个接一个地贵得使人不敢问津。生产国和消费国之间的关系中无法估计的政治问题又加剧了各种工业的命运在经济上的困难。最近，南美矿山国有化和中东对提高油价施加压力成功，使人想起政治问题可能在最终的经济问题发生以前很早就出现。

到2000年，经济发展是否有足够的资源，使70亿人获得高得合情合理的生活水平？回答必须是有条件的。它取决于资源消费团体如何预先做出某些重要决定。他们可能按照现在的模式继续增加资源消费量。他们可能学会把抛弃了的材料收回来和再循环。他们可能发展新的设计，以增加用稀有资源制造的产品的耐久性。他们可能促进各种能满足个人需要的社会经济模式，而他们所占有和消费的不可代替的资源却最少而不是最多。

所有这些可能的进程都包括对不能同时兼顾的因素的权衡。既然如此，因为权衡包括对眼前利益和长远利益之间做出的选择，这就使得这种权衡特别困难。为了保证将来有适量的资源可用，必须采取减少现在所用资源的政策。这些政策大多数靠提高资源成本起作用。今天，在世界上大多数地区，认为再循环和更好的产品设计是昂贵的，是“不经济的”。可是，即使这些政策已有效地实行，只要人口增长和经济增长的正反馈回路继续产生更多的人和更高的人均资源需求，这系统就被推向它

的极限——耗尽地球上不可再生的资源。

从地球中取出的金属和能源被利用和抛弃以后将发生什么呢？在一种意义上，它们决不会消失。组成它们的原子被重新排列，并以稀释的形式在我们行星的空气、土壤和水中消散了。天然的生态系统能吸收人类活动排放出来的许多东西，并把它们重新处理成对其他生命形式有用或者至少是无害的物质。可是，当这些东西是以够大的规模排放出来时，天然的吸收机制便可能成为饱和的。人类文明的废料可以在环境中集结，直到它们变得可以看见、令人烦恼，甚至有害。海鱼中的汞，城市空气中的铅粒子，城市垃圾堆积成山，海滩上的油膜 ——这些都是从人类手中进出的各种资源的流量增加的结果。于是，污染成为这个世界系统中另一个按指数增长的量，是不足为怪的。

污染

许多人……根据日益增加的和合理的客观证据正在得出结论，生物圈作为有机体可以居住的地区，其寿命是以几十年来量度而不是以几亿年来量度的。这完全是我们人类自己的错误。

人类关心它的活动对自然环境的影响，仅仅是最近的事情，科学地量度这种影响的尝试甚至是更近的事，而且还很不完善。此刻，我们当然还不可能对地球吸收污染的能力得出任何最后的结论。可是，我们可以在这一节里提出四个基本问题。这些问题说明，根据动态的全球观点，要理解和控制我们的生态系统的未来的状态，是多么困难。这些问题是：

（1）实际上对少数几种污染，已经测量了一段时间，它们似乎是按指数增长的。

（2）这些污染增长曲线的上限应当在什么地方，我们几乎不知道。

（3）生态过程存在自然滞后情况，可能增加低估控制措施的必要性。因而也可能因疏忽而达到上限。

（4）许多污染遍及全球，它们的有害影响在离它们产生的地点很远的地方出现。

因为这本书的篇幅有限，也因为可以得到的资料有限，要为每一类型污染物质说明这四个问题是不可能的。因此，我们将把到目前为止，

已经研究得最完备的污染物质，作为例子来讨论每一个问题。这里提到的污染物质，与其说是人们最关心的污染物质（虽然所有污染物质都是人们关心的），倒不如说是我们理解得最透彻的污染物质。

按指数增加的污染

事实上，作为时间函数来量度的每一种污染物质看来都是按指数增加的。下面所示各种例子的增长率很不相同，但是大多数比人口增长得更快。有些污染物质，显然与人口增长相关（如农业活动，就与人口增长相关）。其他污染物质与工业增长和技术进步密切有关。这个复杂的世界系统中的大多数污染物质以某种方式受到人口和工业化的正反馈回路的影响。

让我们从考察与人类利用能源日益增加有关的污染开始。经济发展的过程，实际上是利用更多的能源，以提高人类劳动生产率和效能的过程。事实上，全人类财富的最好指标是每人消耗的能源数量（参看图14）。世界上人均能源消耗量在按每年1.3%的速度增加，如包括人口增长在内，则每年增加3.4%。

世界各国人均能源消耗量虽然很不相同，但能源消耗同人均总产量（人均国民生产总值）的相关性很强。这个关系一般说是线性的，点的分散是由于气候和地区燃料价格方面的不同，重点在重工业。

来源：能源消耗来自联合国经济和社会事务部，《1969年统计年鉴》（Statistical Yearbook 1969）（New York:United Nations，1970）。 人均国民生产总值来自《世界银行图表集）（World Bank Atlas） （Washing ton DC:International Bank for Reconstruction and Development，1970）。

大气中的二氧化碳浓度，自1958年在夏威夷的蒙娜·洛阿观察以来，在稳定增长。现在，每年平均增长1.5／百万 （ppm）。计算包括大气，生物圈和海洋之间的已知的CO2交换。预测到2000年CO2浓度会达到38ppm，比1960年的可能值增加将近30%。大气中CO2按指数增加的来源，是人类在增加矿物 燃料的燃烧。

来源：莫斯特·马赫塔：《海洋和生物圈在二氧化碳循环中 的作用》（The Role of the Oceans and Biosphere in the Carbon Dioxide

Cycle），（Goteborg，Sweden，August 1971）。

现在，人类的工业能源生产大约有97%来自矿物燃料（煤、石油和天然气）。当这些燃料在其他物质当中燃烧时，释放出二氧化碳进入大气。目前，由于燃烧矿物燃料，每年释放的CO_2 大约是2000亿吨。如图15所示，大气中测量到的CO_2的数量很明显以每年约0.2%的速度按指数增加。由于燃烧矿物燃料释放的CO_2，大约只有一半确实已经在大气中出现，其余一半显然已经被吸收了，主要是被海洋的水面吸收了。

人们希望，有一天人类的能源需要由核动力，而不是继续由矿物燃料来供应；大气中CO_2的增加在还没有对生态或气候发生影响以前，能最终停止。

可是，利用能源还有另一个副作用，它不取决于燃料来源。根据热力学定律，人类利用的一切能源，实质上最终必然地消散为热。如果能量来源不是与太阳能伴随而来的某种东西　　（例如，矿物燃料或原子能），不论是直接地还是间接地通过为　冷却目的而利用的水的辐射，能使大气变暖。河流中的废热或　者“热污染”，使局部水域中水生生物的平衡被破坏。城市周围的大气废热，使都市形成“热岛”，许多气象上的反常现象，会在“热岛”范围内发生。当热污染增大到按常规地球从太阳中吸收的能量的一部分时，对气候就会有严重影响。图16　中为一个大城市规划的热污染水平，是以入射太阳能的一小部分表示的。

现在，洛杉矶盆地的4000平方英里面积上释放的废热约等于地面上吸收的太阳能的5%，按现在的增长率，到2000年，热释放能达到入射太阳能的18%。这种热是一切能源生产和消费的结果，已经影响到当地的气候。

来源：L.李：《人类对全球环境的影响》（Man's Impact on Global Environment），紧急的环境问题的研究报告（Combridge，Mass：MIT Press，1970）。

核动力还会产生另一种污染物质——放射性废料。由于核动力现在只提供人类所利用的能源的微小部分，所以对核反应堆所产生的废料，对环境可能产生的影响只能作些推测。可是，根据今天已建立的核动力工厂实际释放出和预期释放出的放射性同位素，可以得到某些概念。美国现在正建设一个160　万千瓦的电厂，预计每年排放到环境中去的废料有一张不完全的表，包括烟囱气体中的放射性氪——42800居里（1居里

是1克镭的放射性当量，这是一个很大的辐射量，所以环境放射性 浓度通常是用微居里（1/百万居里）来表示的。）（半衰期几小时到9.4年，取决于同位素），以及废水中的氚——2 910居里（半衰期12.5年）。图17表明；美国的核发电能力从现在到2000年预计增长多少。这张表也包括每年由这些核动力电厂释放出的放射性废料，以及必须安全地贮藏（由耗尽的反应堆燃料）积累起来的废料的估计数。

美国的核电装置的容量预测从1970年的1.1万兆瓦增长到2000年的90万兆瓦以上。到2000年，贮存的核废料，能源生产的副产品很可能超过1万亿居里。如果现在的释放标准仍然有效，每年释放的核废料，大多数的气体氢和冷水中的氘的形式，能达到2500万居里。

来源：到1985年的装置容量根据美国原子能委员会（US Atomic Energy Commission），《核动力增长的预测》（Forecast of Growth of Nuclear Power）（Washington，DC：Government Printing office，1971）。到2000年的装置容量，根据乔叟·斯诺：《能源和动力》（Energy and Power），（Scientifc American，September,1971）。贮存的核废料，根据J·A·斯诺：《反应堆的放射性废料）（Radiocative waste form Reactors），《科学家和公民》第九期（Scientst and Citizen 9）（1967年）。每年释放的核废料是根据马里兰开尔佛峭壁（Calvert Cliffs，Maryland）的1600兆瓦工厂的说明书计算出来的。

二氧化碳、热能和放射性废料，是人类按指数增长率输送到环境中的许多扰乱因素中的三种。其他例子如图18～21。

城市垃圾、工农业废料，大量倒进安大略湖，使许多盐类已在按指数上升。湖中的化学变化已导致大多数有商业价值的鱼的捕获量严重下降。应当注意，鱼的捕获点的标度是对数。 因此大多数鱼种的捕获量已按100到1000的因子在减少。

来源：A·M·波顿：《关于大湖有充分营养可供动植物生长与污染的声明》（Statement on pollution and Eutrophication of the Great Lakes），威斯康星大学大湖研究中心特别报告，#11（Milwaukee，Wisc.：University of Wisconsin，1970）。

波罗的海有机废料的积累日益增加，海水环流降到最限度，结果水中氧浓度经常在减少。在某些水域，尤其是比较深的水域，氧浓度是

零，几乎不能维持任何水中生命形式。

来源：斯迪格·H·福赛留斯：《不流动的海）（Stagnant sea）（Environment，Julg / August）。

图18表示北美一个大湖中由于可溶解的工业、农业和城市废料的积累而发生的化学变化，也指出了这个湖的有商业价值的渔业生产随之而发生的减少。图19说明为什么有机废料的增加，对鱼的生命有这样一种灾难性的结果。这张图表明，波罗的海中的溶解的氧（鱼“呼吸”这种氧）是时间的函数， 随着进入水的废料数量增加和腐烂，溶解的氧就耗尽了。就波罗的海的某些部分来说，氧的标准实际上已达到零。

美国的汞消费量表明一种指数倾向，已加上短期市场涨落。大部分汞用于生产苛性钠和氯。这张图并不包括由于矿物燃料燃烧而放进大气的汞上升着的数量。

来源：巴里·康门纳，迈克尔·卡和保罗·J斯坦姆勒：《污染的原因》（The Causes of Pollution），《环境》（Environment），1971年4月号。

有毒金属铅和汞从汽车、火化炉、工业过程和农药进入水和大气。图20表示美国从1946-1968年在汞消费量方面的指数增长。这种汞只有18%在用后被回收并使之再循环。从格陵兰冰帽中取样逐渐加深，已发现空降铅的沉积是按指数增长的，如图21所示。

格陵兰冰帽深层雪样表明，铅的沉积随时间日益增高。钙和海盐的浓度也作为一种参照物测量了。铅的存在反映出世界工业对金属的利用在增长，包括由汽车排出的废气直接进入大气。

来源：C·C·帕特森和J·D·塞尔维亚：《现代环境中的铅 ——天然的有多少？》（Lead in the Modern Environment-How Much is Natural？），（Scientist and Citizen，April 1968）。

不知道的上限

各种污染的所有这些指数曲线，都可以外推到未来，就像我们在图10中外推土地需要和在图11中外推资源利用那样。在以前这些图中，指数增长曲线最终达到一个上限——可耕地总量或者在地球上可以经济地

得到的资源总量。可是，在图 15-21中，并没有为污染物质的指数增长曲线指出上限，因为并不知道我们对地球上的天然的生态平衡可以扰乱到什么程度而没有严重后果，也不知道可以释放多少CO2或热污染而不引起地球上气候的不可逆变化，以及植物、鱼类或人类在生命过程被严重地打断以前可以吸收多少放射性、铅、汞或农药。

生态过程中的自然滞后

对地球吸收污染物质的能力的界限无知，应当是在排放污染物质方面小心谨慎的充分理由。达到这些界限的危险特别大，因为在排放污染物质进入环境和对生态系统显示其消极结果之间有一种很典型的长期滞后。DDT作为一种农药使用以后，通过的环境渠道，可以说明这种滞后作用的动态含义。下面提出的结果，取自详细的系统动力学研究（约根·兰德斯和丹尼斯·米都斯的研究，已列入附录。），要用适用于DDT的常数。这个一般结论（以及其中包含的确切数学方面的某些改变）适用于所有长期存在的有毒物质，例如汞、铅、镉、其他农药、聚氯联苯（PCB）和放射性废料。

DDT是人造的有机化学品，作为一种农药，每年以10万吨的速度排放，进入环境。在DDT使用以后，由于喷洒，部分DDT蒸发。在它最后沉淀，回到陆地上或进入海洋以前，在空气中长距离传播。在海洋中，某些DDT被浮游生物吸收，某些浮游生物被鱼吃了，而某些鱼则最后被人吃了。DDT在这个过程的每一步中可以变为无害物质，也可以排放回到海洋，或者可以在活的有机体组织里积聚。在每一步中都包含一些滞后现象。所有这些可能的途径都已经由计算机分析过了，产生的结果见图22。

如果DDT的世界使用率在1970年开始下降，仔细分析DDT 通过环境的途径显示出这个可能的结果。所示使用率到1970年是符合历史事实的。土壤中的DDT在使用率开始下降以后不久达到最高点。但是鱼中的DDT继续上升11年，直到1995年都不会下降到1970年的水平。食鱼动物中的DDT，例如鸟类和人类，对使用率减少的反应，会显示更长的滞后现象。

来源：约根·兰德斯：《全球环境中的DDT运动》（DDT Movement in the Global Environment），见丹尼斯·L·米都斯和康纳拉·H·米都斯：《走向全球均衡》（Toward Global Equilibrium）（Cambridge，mass.：Wright-Allen Press，1973）。

这张图中表示的DDT使用率，遵循194O-1970年的世界使用率。这张图表明，如果世界DDT使用率在1970年开始逐渐减少，直到2000年达到零，会发生什么？因为这系统固有的滞后，鱼类中DDT的水平，在使用DDT开始下降以后，继续上升10年以上，而且在作出减少使用DDT的决定以后20年以上，即直到1995年鱼类中DDT的水平都不会恢复到1970年的水平。

从排放污染物到它以有害形式出现，在任何时候都有一滞后过程。我们知道，从控制那种污染物质到它的有害影响最终减少，也有一个滞后过程。换句话说，只有当某些害处已经被察觉的时候，才开始控制，以此为基础的任何控制系统很可能在问题改善以前，会变得更糟。这类系统很难控制，因为这类系统需要把现在的行动建立在对遥远未来的预期结果上。

污染物质的全球分布

现在世界上只有发达国家对污染认真关注。可是，不幸的特征在于许多类型的污染，最终会在世界上广泛扩散。虽然格陵兰离任何大气铅污染源很远，可是，在格陵兰冰块中沉积的铅的数量，自1940年以来，每年增加300%。如表5所示，DDT则已经在全球的每一部分，从阿拉斯加的爱斯基摩人到新德里的城市居民的人体脂肪中积聚起来。

表5 人体脂肪中的DDT 居民年代样品数人体脂肪中DDT的浓度和毒性破坏的结果（百万分率）

阿拉斯加（爱斯基摩）1960203.0

加拿大1959-60624.9

英国1961-621312.2

英国19641003.9

法国1961105.2

德国1958-59602.3

匈牙利19604812.4

印度（德里）19646726.0

美国（肯特基）19421010

美国（乔治亚、肯特基、亚利桑那、华盛顿）1961-6213012.7

美国（所有地区）1964647.6

来源：小韦兰德·J·海斯：《检验食品和人体中的农药含量》（Monitoring Food and People for Pesticide Content），见《控制害虫的科学方面》（Scientific Aspects of pest Control）（Washington，DC： National Academy of Sciencec -National Research Council，1966）

污染极限

由于产生污染是人口、工业化和特定的技术发展的复杂函数，很难确切地估计排污总量的指数曲线上升得多么快。我们可以估计，如果2000年的70亿人民有像现在的美国人一样高的人均国民生产总值，环境的污染总负荷至少会是现在的值的 10倍。地球的自然系统能支撑这种巨大的侵入吗？我们没有概念。有些人相信，人类已经使环境退化，已经对大自然系统产生了不可逆转的损害。我们不知道，地球吸收一种污染的能力的确切上限，更不必说地球吸收各种污染相结合的能力了。可是，我们确实知道存在一个上限。而许多地区的环境已经超过这个上限了。人数和每个人的污染活动都按指数增长是全球达到上限的最基本的途径。

世界系统的环境部分中包括的对不能同时兼顾的因素的权衡，完全像农业和自然资源部分一样难以解决。产生污染活动的利益通常在空间和时间上与成本完全无关。因此，要做出公正的决定，就必须考虑空间和时间因素。如果把垃圾倒进上游，下游谁会受到损害吗？如果现在使用含汞的杀菌剂，海洋鱼类中在什么程度上、什么时候和什么地方会出现这种汞呢？如果把污染工厂放在偏辟的地方，以“隔离”污染物质，那些污染物质10年或20年以后，会在哪里呢？

技术发展也许会使工业扩大而污染减少，但是要付出高昂的代价。美国环境质量委员会已经要求从现在到1975年之间有1050亿美元预算（其中42%由工业支付）用于美国一部分的空气污染、水质污染和固体垃圾污染的净化。任何国家都可以推迟支付这样的费用，以增加工厂的资本实现目前的增长率，但是这样做，要以未来环境恶化为代价。环境

恶化是可逆转的，但费用是高昂的。

一个有限的世界

这一章里，我们涉及了粮食生产、资源消耗，以及污染的产生和净化等许多难以权衡的因素。到现在应当清楚，所有这些难以权衡的因素，都是由一个简单的事实引起的——地球是有限的，任何人类活动愈是接近地球支撑这种活动的能力限度，对不能同时兼顾的因素的权衡就要求变得更加明显和不可能解决。当没有利用的可耕地很多时，就可以有更多的人，每个人也可以有更多的粮食。当所有土地都已利用，在更多的人或每人更多的粮食之间权衡就成为绝对的选择。

一般说，现代社会还没有学会清楚地认识和权衡这些不能同时兼顾的因素。现在世界系统的明显的目标，是要使更多的人中的每个人有更多的产品（粮食、物质的商品、清洁的空气　和水）。在这一章里，我们已经注意到，如果社会继续追求这个目标，它最后会达到地球上的许多极限中的某一个极限。正如我们在下一章里将要看到的，要确切地预言哪一种极限会首先发生，或者后果会是什么，是不可能的。因为，人类对这样一种形势有许多可以想象的和不可预见的反应。可是，要研究在这个世界系统中，什么条件和什么变化会导致社会同有限世界的增长极限迎头相撞或互相适应是可能的。

在一个圆圈的圆周线上开端和终端是共同的。

——赫拉克利特

公元前500年

我们已经讨论了粮食、不可再生资源和吸收污染、维持人口以及工业增长所必须的各个因素。我们已经考察了对每一个因素的需求方面的增长率，以及供应方面的可能的上限。通过 对需求增长曲线做简单的外推，我们已经试图粗略地估计每一个因素可以继续按现在的增长率增长多久。我们从这些外推得出了许多有远见的人已经认识到的结论：人类的许多活动翻一番的时间很短，而且大量活动已经翻了一番并会出乎我们意外地很快接近那些活动增长的极限。

外推现在的趋向是考察未来特别是近期未来的一种历史悠久的方法，当认为这个量不太受系统中到处发生的其他趋向影响时尤其如此。当然，我们在这里考察的五个因素没有一个是独立的，每一个因素经常同所有其他因素相互作用。我们已经提到了某些相互作用，人口没有粮食就不能增长；粮食生产是通过资本增长而增加的；更多的资本需要更多的资源；被抛弃的资源成为污染；污染扰乱人口和粮食的增长。

而且，在一较长时期中，每一个因素也反馈影响它自己。例如，1970年粮食生产增加的速度，对1980年人口多少会有某些影响，它又会决定此后多年粮食生产必须增加的速度。同样，今后几年资源消耗的速度，会影响必须维持的资本规模以及地球上剩下的资源数量。于是，现在的资本和可以得到的资源会相互作用，以决定未来资源的供求。

人口、资本、粮食、不可再生资源，以及污染，这五个基本数量或标准，是由我们还没有讨论过的其他相互关系和反馈回路联系起来的。很清楚，不考虑其他所有因素，就不可能确定这些数量的遥远未来。然而，即使是这种比较简单的系统，也有复杂的结构。人们可能直觉地理解，它在未来会怎样表现，或者一个变量最终会怎样影响其他每一个变

量。要达到这样的理解程度，我们必须扩大我们的直觉能力，使我们能同时了解许多复杂的相互联系的变量。

我们在这一章里描述了规范的世界模型，做好走向理解这个复杂的世界系统的第一步。这个模型只不过是一种尝试，使上述已经存在着因果关系方面的五个标准的大量知识集合在一起，并且用相互连结的反馈回路来表示这种知识。由于这个世界模型在理解这个世界系统增长的原因和极限方面是如此重要，我们将详细地说明建立模型的过程。

在创立这个模型时，我们依照四个主要步骤：

1．我们首先列出了五个标准中间的重要的因果关系和探索反馈回路结构。为此，我们查阅了文献， 并与许多研究领域中的专业人员讨论所关心的领域——例如，人口统计学、经济学、农学、营养学、地质学和生态学。第一步，我们的目的是要发现能反映五个标准之间主要相互作用的最基本的结构。我们推想，在理解了这个简单的系统以后，可以进一步详尽描述这个基本结构，反映更加详尽的知识。

2．然后，我们用可以获得的全球数据，尽可能准确地为每一种关系定量。对于还没有做全球量度的方面，就用有代表性的局部的数据。

3．我们用计算机计算所有这些关系在时间上同时的作用。然后，我们检验基本假定中数字变化的结果，找出这系统行为的最关键的决定因素。

4．最后，我们检验了各种政策对我们的全球系统的影响。目前提出的这些政策正在加强或改变这个系统的行为。

这些步骤不必循序前进，因为新信息常常来自后一个步骤，会使我们回过头来改变基本的反馈回路结构。这不是一个不可改变的世界模型；相反，是一个逐渐形成的模型。随着我们的理解加深，而不断加以批判和使之现代化。

现在，这个模型的总结，它的目的和局限性，它所包含的最重要的反馈回路，和我们为因果关系定量的一般程序如下。

这个世界模型的目的

在第一个简单的世界模型中，我们只对人口—资本系统的主要行为

方式发生兴趣。就行为方式来说，我们指的是系统中的变量（例如：人口和污染）随着时间进展而变化的趋向。一个变量可以增加、减少、保持不变、波动，或者把这几种有代表性的方式结合起来。例如，人口在有限环境中增长，能以几种可能的方式接近这个环境的最终承载能力。如下面所示：它可以用逐渐减低增长率的办法，平稳地调整到环境极限以下的一种均衡状态。或者它可以超过极限。然后，以平稳的方式或者波动的方式重新降低，或者它可以超过极限，而在这个过程中，靠消耗某些必需的不可再生的资源，来降低最终承载能力。这种行为在许多天然系统中已被注意到了。例如，鹿或者山羊，当没有天敌时，往往越过它们的界限在田野里吃草，使植被被侵害或破坏。

创立这个世界模型的主要目的，是要决定当这个世界系统达 到增长的极限时，这些行为方式中，哪一种会最有代表性。这种决定行为方式的过程是“预见”， 但是仅仅在这个词的最有限的意义上使用它。这本书后面复制的产出图，展示了世界人口、资本和其他变量的估算值，时间尺度从1900年开始，一直继续到2100年。这些图不是变量在未来的任何特定年份的值的确切预见。它们只表示这系统的行为趋向。

“预见”的不同程度之间的差别可以用一个简单的例子加以最好的解释。如果你把一个球直线抛入空中，你可以肯定地预言球的一般行为会是什么？它会以减速上升，然后反向并以 加速下降，直到球到达地面。你知道，它不会永远继续上升，不会环绕地球的轨道运行，也不会在着陆以前绕三圈。我们用现在这个模型所寻求的就是对行为方式的这种基本理解。如果 人们想要确切地预言一个向上抛的球会上升得多么高，或者确切地预言这个球会在什么地方和什么时候到达地面，就必须根据有关球、高度、风、最初抛出的力的精确资料做详细的计算。同样，如果我们想要在百分之几的范围内预言1993年地球上的人口规模，我们就需要有比这里描述过的模型更加复杂得多的模型，我们也会需要有比现在可以获得的资料更加精确而全面的资料。

因为我们在这个问题上，只对主要的行为方式感兴趣，第一个世界模型不需要很详细，因此，我们只考虑一般的人口，这个人口在统计上反映全球人口的平均特征；我们只包括一类长期存在、全球分布的污染物质，例如铅、汞、石棉和稳定的农药以及放射性同位素；我们正在开始理解，这类污染物质在生态系统中的动态行为；我们试图表示一种一般化的资源，它表示所有不可再生资源合在一起的储藏量。虽然我们知道，每一种资源会以它自己的特殊的标准和速度遵循一般的动态模式。

在这点上，实现高度的集合，对于保持对模型的理解，是必要的。与此同时，它毕竟限制我们从这个模型得到所期望的信息。因为这个模型简单，并且不包含许多细节，因此，不可能回答细节问题。这个模型还没考虑国界问题。分布不均匀的粮食、资源和资本的数据，既没有明确地加以计算，也没有用图表表示其产出。世界贸易平衡、移居模式、气候的决定因素，和政治过程并没有特别加以处理。我们希望建立也能建立其他各种模型，以澄清这些重要的子系统的行为。（我们在研究过程中，已经为自己建立了许多子模型，以探索这个世界模型的每个部分的详细动态，这些研究的清单，见附录里。）

可以从这样一个高度集合的模型学到什么吗？这模型的产出可以认为是有意义的吗？从确切的预见来说，这种产出是没有意义的。我们既不能预言美国确切的人口，也不可能预言巴西的国民生产总值，以及2015年世界粮食总产量。我们不得不使用的数据对于这样的预测来说，当然是不充分的，即使我们的目的是通过它们做预测。另一方面，当达到极限时，理解人类社会增长的原因，增长的极限，以及我们的社会经济系统的行为是极其重要的。人类对这些系统的行为方式的知识是很不完备的。例如，现在还不知道，人口是否会继续增长，或者逐渐达到稳定，或者围绕着某个上限波动，或者急剧下降。我们相信，集合的世界模型是探讨这种问题的一种方法，这个模型利用在全世界都一样的人口、粮食、投资、折旧、资源和产量之间最基本的关系，这种关系适应于人类社会的任何部分或者整个社会。事实上，正如我们在这本书开始时指出的，用空间—时间上尽可能广阔的眼界来考察这样一些问题，是有好处的。当总的限度和行为方式已被了解时，就可以更加切合实际地询问细节问题，个别国家的问题，以及近期压力的问题。

反馈回路结构

我们在第一章里，通过一个图表说明产生人口增长和资本增长的反馈回路。图23把它们画在一起了。

考察图23中用图解表示的关系，也许是有帮助的。每年的人口由于当年出生总数而增加，由于当年死亡总数而减少。每年出生的绝对数是人口平均出生率的函数，也是人口规模的函数。死亡数与平均死亡率和人口总量有关。只要出生超过死亡，人口就增加。同样，一定数量的工业资本，按不变的效率起作用，每年就可能产生一定数量的产品。更多的工厂、机器，等等，将有助于增加资本贮存的投资。同时，每年有些资本设备将要折旧或被抛弃，要保持工业资本增长，投资率必须超过折

旧率。

在我们所有的流动图中，例如图23，箭头只不过表示一个变量对另一个变量有某些影响，影响的性质和程度并没有详细说明。这种影响当然必须在模型方程中定量。为简单起见，我们常常忽略这张流动图中有几种滞后发生的因果关系。

这个世界模型的主要反馈回路，控制人口和工业资本的增长。两个正反馈回路包含的出生和投资，导致人口和资本的指数增长行为。两个负反馈回路包含死亡和折旧，趋向于调节这种指数增长。不同回路的相对强度，取决于这个世界系统的其他许多因素。

人口和工业资本之间的有些相互联系，通过农业资本、耕地和污染起作用。每一个箭头指出一种因果关系，这种因果关系，可以立即发生或者经过滞后发生，可大可小，可正可负， 一切取决于每一类模型所包含的假定。在模型计算中，清楚地 包括了这种滞后。

人口和资本以许多方式互相影响，其中有些影响已在图24中表示。工业资本的有些产品成为农业资本，如拖拉机、排灌沟渠和化肥。农业资本和耕地的数量，强有力地影响着粮食生产的数量。人均粮食（生产出来的粮食除以人口）影响着人口的死亡率。工业、农业活动都可以引起污染。（就农业来说，污染主要来自残留农药、引起贫瘠化的化肥，及造成土地盐碱化构成的不适当的灌溉）。污染可以直接影响人口的死亡率。也可以由于农产品在减少而间接影响人口死亡率。

图24中有几个重要的反馈回路，如果这个系统中其他一切都保持相同，人口增加会减少人均粮食，并因此增加死亡率，增加死亡绝对量，最后导致人口减少。这种负反馈回路用图解表示如下。

另一种负反馈回路（表示如下）倾向于抵消上面表示的一个负反馈回路。如果人均粮食减少到比人口所希望的值更低，就会有增加农业资本的倾向，结果是未来粮食生产和人均粮食可以增加。

图25说明了这个世界模型中的其他重要关系。这些关系涉及人口、工业资本、服务资本和资源。

人口和工业资本也受服务资本的水平（例如健康和教育服务）和不

可再生资源的储量的影响。

工业产品包括分配给服务资本的商品，如房屋、学校、医院、银行，及其配套设备。这种服务资本的产品除以人口，得到人均服务的平均值。人均服务影响健康服务的水平，并进而 影响人口的死亡率。服务也包括教育和研究控制出生等方法，以及控制出生的知识和工具的分配。人均服务因此与出生率有关。

变化着的人均工业产品，对影响出生率的许多社会因素，也有值得注意的影响（不过典型方式是发生滞后）。

每单位工业产品都要消耗一些不可再生资源的储量。随着储量逐渐减少，从地球上得到同样数量的资源就必需有更多的资本。因此，资本的效用降低（这就是说，要生产一定数量成品需要更多的资本）。

图25中重要的反馈回路在下边表示出来。

图24和25中表示的关系，是这个世界模型中许多互相连结的反馈回路的典型代表。其他回路包括耕地面积以及开发或侵蚀的速度，产生污染的速度和环境使污染变为无害的速度，以及劳动力和就业数量之间的平衡。图26使所有这些因素和多的因素都结合进去了，是一张表示世界模型的完备的流动。（图26较为复杂，在网页上难以显示，按此下载图26压缩文件241K）

定量的假定

图26中的每一个箭头代表一种普遍的关系。我们知道，这种关系在人口—资本系统中是重要的或者是潜在重要的。事实上，这种结构是非常普遍的，它可以代表单个国家，甚至单个城市（加上移居和越界贸易流量）。要把图26的模型结构用于一个国家，我们就要用代表这个国家的数量来为这结构中的每一种关系定量。要描绘这个世界，数据就要反映整个世界的平均特征。

在现实世界里，大多数因果性的影响是非线性的。这就是说，在因变量方面的一定变化，（例如，人均粮食增加10%）可以对另一个变量（例如，估计寿命）有不同的影响，它取决于第二个变量可能范围内的哪一点上发生变化。例如，如果人均粮食均增加10%，已证明可增加估计寿命10年，那么人均粮食增加20%，其结果并不一定会使估计寿命增加20年。

图27表示人均粮食和估计寿命之间的非线性关系。如果只有一点儿粮食，少量增加，就可能带来人口估计寿命的大大增加。如果已经有足够的粮食，进一步增加就只会有一点儿影响，或者没有影响。这种非线性关系已经与这个世界模型直接结合。（图27中的数据并没有以其他因素如注意健康来校正。在技术报告中提出了对这种关系做统计处理的进一步的资料，及其与模型方程相结合的资料。）

人口的估计寿命，是人口所得到的营养的非线性函数。在这张图表中，营养水平是用相当于多少植物热量（卡）来表示的。从动物来源得到的热量，例如，肉或牛奶，则乘上一个转换因子（大约是7，因为生产1卡来自动物的热量大约需要喂食7卡热量的植物）。由于来自动物的食品，在维持人的寿命方面有更大的价值，这种量度既考虑了食品的量，也考虑了食品的质。图表上每一个点，表示平均估计寿命和一个国家在1953年的营养水平。

来源：M·塞佩德，F·豪塔和L·格隆德：《人口和食品》（Population and Food）（NewYork：Sheed and Ward，1964）。

关于世界上各种因果关系知识的现状，既有完全无知的，也有极其准确的。这个世界模型中的关系，一般处于确定的中间区域。我们对这种因果性影响的方向和大小，确实知道一些。但是，我们对它们很少有完全准确的知识。为了说明我们在知识的中间区域上怎样起作用，现在，我们从这个世界模型中，提出三个定量关系的例子。一个是经济变量之间的关系，相对地说理解得比较清楚；另一个包含社会心理变量，对它研究得已很充分，但难以定量；第三个与生物变量有关，到目前为止几乎完全不知道。尽管这三个例子决没有构成这个世界模型的完备描述，但是，这三个例子说明了我们用来建立这个世界模型和使它定量的论据。

人均资源利用

随着世界人口和资本设备增长，对不可再生资源的需要会发生什么？每年消耗的资源数量可以由人口乘以人均资源利用率得到。人均资源利用率当然不是不变的。随着人口变得更加 富裕，每人每年就趋向于消耗更多的资源。下面是表示人口，人均资源利用率和财富（由人均工业产品来量度）与资源利用率的关系的图解。

财富（人均工业产量）和资源需求（人均资源利用率）之间的关

系，是由图28所示的非线性曲线表示的。在图28中，资源利用是由1970年全世界平均人均资源消费量来规定的，使之等于1。由于1970年全世界平均人均工业产量大约是230美元。我们记住，曲线通过这一点由一个X标明，美国在1970年人均工业产量大约1600美元，每个公民平均消耗的资源接近于全世界平均人均资源利用量的七倍。这条曲线上代表美国消费水平的点由一个＋来表明。我们假定，随着世界其余部分在经济上发展，基本上会遵循美国的消费模式——人均产品增长是一条急剧的上升曲线，接着达到平衡。现在，在世界钢铁消费模式里，就可以为这个假定找到证明（参看图29）。尽管在钢铁消费曲线中有一些不同于图28中一般曲线的变化，这是由于不同国家代表的经济结构和政治结构不同，但是，整个模式是一致的。

每人消耗的资源和每人的工业产出之间的关系，这个假设的模型是S型的。在没有实现工业化的社会里，资源消耗是很低的，因为大多数生产是农业生产。随着工业化水平的提高，不可再生资源的消耗急剧上升，然后变为在很高的消费率上趋于稳定。X点表示1970年全世界平均资源消耗率； ＋点表示1970年美国的平均消耗率。两个水平标度用人均工业产量和人均国民生产总值两者来表示资源消耗关系。

1968年，世界各国人均钢材消费量遵循图28所示的一般S型模式。

来源：钢铁消耗量取自《联合国经济和社会事务部1969年统计年鉴》（Steel Consumption from UN Department of Economic and Social Affairs，Statistical Yearbook 1969.）（New York：United Nations，1970）。人均国民生产总值取自《世界银行图表集》（World Bank Atlas）（Washington，DC：Goverment Printing Office，1969）。

人均铜和钢的消耗量，在美国随着总生产率上升，进入了一个迅速提高时期。在消费达到一个比较高的比率以后，接着是一个比较缓慢提高的时期。

来源：铜和钢的消耗量来自《金属统计资料》（Metal Statistics）（Somerest，NJ:American Metal Market Company，1970，）。历史上的人口和国民生产总值来自美国商业部，《美国经济增长》（US Economic Growth）（Washington，DC：Goverment Printing office，1969）。

图30中所标绘的美国消费铜和钢的历史，提供了资源消费曲线的一般形式的附加证据。随着个人平均收入的增长，资源利用在两种情况下也上升。起初，急剧上升，然后平稳地上升，最后的较高的平稳时期表示物质占有的平均饱和水平。进一步增加的收入，主要花费在服务上，资源消耗支出较少。

图28所示的这个世界模型所包括的资源利用S型曲线，明显代表了当前政策。在模型模拟中，在任何时候都可以改变这条曲线，以检验系统变化的结果（如资源的再循环），它会增加，或者会减少每人消耗的不可再生资源的数量。这本书后 面所示的实际模型的趋势会说明这样一些政策和结果。

期望的出生率

在任何人口中，每年出生数等于育龄妇女数乘以平均出生率（每个妇女每年出生平均数）。也许有许多因素影响着人口的出生率。事实上，研究出生率的决定因素是世界上许多人口统计学家的主要工作。在这个世界模型里，我们已经确定了构成出生率的三个主要因素——即最高的生物性出生率，控制出生的效力和期望的出生率。出生率的这些因素间的关系用图解法表示如下。

最高的生物性出生率是妇女在整个生育期中，不用控制生育的方法所能生的孩子的比率。这个比率是由生物性决定的，主要依人口的一般健康状况而定。期望出生率是人口实行“完全的”控制生育的结果，而且只是有计划想要的孩子的比率。控制生育效力量度人口可以达到期望出生率，而不是最高生物出生率的程度。因此，“控制生育”的定义很广泛，包括居民实行的控制生育的任何方法，包括避孕、流产和禁欲。应当强调，完善的控制生育效力并不意味着低出生率。如果期望出生率高，出生率也就会高。图31使人想到工业化应当是更加重的因素。

世界各国的出生率表明，随着人均国民生产总值的增加，有一个有规律地降低的趋向。世界人口有一半以上在这张图表的左上角表示出来。在那里人均国民生产总值低于每人每年500美元，而出生率则从每千人每年40到50不等。这种趋向的两个主要例外是石油出口国利比亚和委内瑞拉，在那里收入上升是最近的事，而且收入分配很不平均。

来源：美国国际开发总署（US Agency for International

Development），《人口援助计划》（Population Program Assistance）。（Washington，DC：Goverment Printing Office，1970）

世界上所有国家的天然出生率和人均国民生产总值之间的关系，惊人地符合有规则的模式。一般说，尽管宗教、文化或政治因素不同，随着国民生产总值上升，出生率就下降。这一条似乎是正确的。当然，我们从这张图中不可能得出结论，人均国民生产总值上升直接引起低出生率。可是，最终降低出生率的许多社会变化和教育变化，很明显同日益提高的工业化有联系。这些社会变化只是在一个相当长的滞后时期以后才典型地出现。

出生率和人均国民生产总值之间的这种相反的关系，在反馈回路结构中起作用吗？大多数证据会指出，由于最高生物性出生率并不起作用。如果有区别的话，上升着的工业化，意味着健康增长，结果是可能出生的数量随国民生产总值增加而增加。另一方面，控制生育效力也会提高。而这种效力当然会对图31所示的出生下降做出贡献。

可是，我们提出，国民生产总值上升的主要影响是在期望出生率方面。图32表示这种认识的证据。这条曲线指出，对家庭计划调查回答想要四个以上孩子的人的百分比，是人均国民生产总值的一个函数。这条曲线的形状，除高收入所期望的家庭规模略有增加外，与图31相同。

在17个不同的国家里，对家庭计划调查的回答，指出了他们想要有多少孩子。希望要大家庭（四个或者更多的孩子）的回答者百分比表明，与人均国民生产总值的关系可以与图31所示的趋向比较。

来源：伯纳德·贝雷逊及其他人：《家庭计划和人口规则》（Family Planning and Population Programs）（Chicago：University of Chicago Press，1965。）

经济学家J·J·斯宾格勒已经用工业化过程中发生的经济变化和社会变化，说明了出生率对收入的一般反应。他相信，每一个家庭，都自觉地或者不自觉地把增加一个孩子的价值和 费用与这个家庭可以得到的专用于这个孩子的财力对照起来权衡。这个过程导致关于家庭规模的一般态度随收入增加而变化，如图33所示。

图解表明，决定家庭规模的经济因素，大体符合成本—利润分析。曲线是总结了孩子的价值和费用同可用于养育孩子的财力之间平衡的结果，都是工业化增长的函数。这种复合曲线同图31和32中的曲线是相同的。

孩子的“价值”包括金钱的考虑。例如孩子对家庭农场或商业的劳动贡献，以及当双亲年迈时最终依靠孩子的供养。随着一个国家的工业化，童工法、义务教育和社会保险条款，全都在减少孩子具有的潜在的金钱价值。“价值”还包括孩子作为爱的对象，家庭姓氏的沿续者，家庭财产的继承者，和男子汉象征等无形的价值。这些价值在任何社会里都很重要，报答功能始终有积极的价值。在贫苦社会里尤其重要，在那里除了个人满意几乎没有其他可供选择的方式。

孩子的“费用”，包括供给孩子需要的必需品的实际货币支出，母亲专门用于照顾孩子的时间的代价，以及整个家庭的责任增加、自由减少。在传统社会里，孩子的费用是很低的。给新生孩子的住房并没有增添，外加的生活空间和可以得到的教育、医疗服务很少，衣食需要也很少；母亲一般没有受过教育，她的时间没有确定价值。这种家庭很少有自由去做妨碍孩子的任何事情。父母为了照顾孩子而离家去找工作时，就有扩大了的家庭结构。

可是，随着家庭收入增加，给孩子的就不只是基本的衣食需要。他们得到更好的住房和医疗照顾，而且，教育成为既是必要的也是昂贵的。旅行、娱乐和为母亲选择职业成为可能，而这一切同大家庭是不相容的。上述扩大了的家庭结构，随着工业化趋向于消失，何况代管孩子是很昂贵的。

家庭专门用于孩子的“财力”一般都随收入而增加。收入很高时，随着收入进一步增加，价值—费用曲线趋于不变，财力曲线成为复合的期望出生率中的支配因素。因此，在富裕国家里，例如美国，期望家庭规模成为收入的直接函数。应当注意，“财力”部分是心理概念，在计划家庭规模时，现在的实际收入必须由对未来收入的预期来修正。

我们已经用连接人均工业产量和期望的出生率之间的联系反馈回路来概括所有这些社会因素。图33的右面表示这种关系的一般形式。这种关系，并不意味着收入上升是期望的家庭规模的唯一决定因素，甚至是

直接的决定因素。事实上，在人均工业产量和期望的家庭规模之间，存在有滞后，它表明这种关系需要一种社会调节，这种调节也许要一两代才能完成。而且，这种关系可以由未来的政策或社会变革来改变。当这种关系继续有效的时候，它只不过反映出人类社会的历史行为。无论在哪里，经济发展了，出生率就下降。而在没有实现工业化的地方，出生率仍然很高。

污染对寿命的影响

在这个世界模型里，我们已经包括了污染会影响世界人口的估计寿命这个可能性。我们用“污染的寿命乘数”来表达这种关系，即用一个函数来表示估计寿命的乘数，否则就用预期　污染所起的作用来表示（根据粮食和医疗服务的价值），如果污染严重得足以使估计寿命值降低到没有污染时的90％，乘数就等于0.9。污染和估计寿命的关系图解如下：

关于污染对估计寿命的影响的全球资料很贫乏。关于特定的污染物质，例如，汞和铅，对人类的毒性的报导很慢才能得到。只有在空气污染领域里，才试图把特定的污染物质浓度同人口的死亡率在统计上联系起来。

虽然还没有得到定量的证据，但在污染和人类健康之间，毫无疑问，确实有联系。按照环境质量委员会最近的报告：

严重的空气污染事件已经证实，空气污染可以怎样严重地损害健康，进一步研究所产生的日益增加的大量证据表明，长期暴露在污染物质里，即使浓度低，也能损害健康，并引起慢性病和过早死亡。对最脆弱的人——老年人和那些已经患呼吸系统疾病的人来说，尤其如此。与空气污染有联系的主要疾病包括肺气肿、支气管炎，气喘和肺癌。

随着全球污染水平提高，对人类寿命的影响会是什么呢？　我们不能准确地回答这个问题。但是，我们确实知道，一定的影响是存在的。我们在这个世界模型里，忽视污染对估计寿命的影响的错误程度比包括它而用我们对污染量的最适当的猜测严重。下面阐述我们研究“最适当的猜测”的方法，并用图34予以说明。

污染的水平和人的平均寿命之间的关系，可以与许多不同曲线相一致。曲线A表明，污染对寿命没有影响（正常的估计寿命乘以1.0）。曲线B表示寿命随污染增加而增加（正常的估　计寿命乘以比1.0大的数）。

曲线C、C'、C"反映了污染对寿命的有害影响。这个世界模型所用的关系，形状像曲线C"。

如果污染的增长是现在的全球水平乘以因子100，对寿命绝对不会有影响。那么，图34中的直线A就是我们所探索的关系的正确表示，估计寿命与污染就会是无关的。当然，曲线　　A是很靠不住的，因为我们知道，污染的许多形式对人体是有损害的。曲线B或者在曲线A上面浮现的任何类似的曲线甚至更加不可能，因为它表明，另外的污染会增加平均的寿命。我们可以预期污染和寿命之间的关系是负的，虽然我们并不知道表示这种关系的曲线的确切形状或斜率会是什么。标明c　的任何一条曲线，或其他任何负曲线，所表示的应当是正确的作用。

在这种情况下，我们的步骤是：就一个变量对另一个变量可能有的影响，做几种不同的估计，然后在这个模型里检验每一种估计。如果这模型在一条曲线中发生变化的情况下很敏感，我们就知道，我们在对它做出结论以前，必须得到更多的信息。如果（在这种情况下）整个模型的行为方式并没有因为曲线中的变化而有很大改变，我们对它的形状就做一种保守的猜测，并在我们的计算中包括相应的值。我们相信，图34中的C"是最准确地描绘估计寿命和污染之间关系的一条曲线。这条曲线假定，全球污染按10的因子增加，对寿命几乎没有影响，但是按100的因子增加，就会有很大影响。

世界模型的用处

上面讨论的关系只是组成这个世界模型的上百个因果链条中的三个。在这里选择这三个，是作为我们已经用过的那种信息输入和我们利用它们的方法的例子。在许多情况下，适用的信息是不完备的。然而，我们相信，以这种信息为依据的模型是有用的，即使在初期也有几条理由：

第一，我们希望，每一种关系都作为假说来提出，并强调它在整个世界系统中的重要性，我们就可以引起讨论和研究，最终会改进我们必须使用的资料。在这个模型的不同部分有相互作用的地方（例如污染和人的寿命），强调这一点尤其重要，在这些地方交叉的研究是必要的。

第二，即使没有更好的资料，现在可以得到的信息足以为这个世界系统形成有根据的和基本的行为方式。这是正确的，因为，这个模型的反馈回路结构是更加重要得多的整体行为的决定因素。比如反馈回路定

量的准确数字，正如我们在下面几页中看到的，即使输入资料发生相当大的变化，通常也不会改变行为的方式。数字上的变化很可能影响振荡周期、增长率、或者崩溃的时间。但是，它们不会影响基本方式是振荡、增长或崩溃。（在没有来自观察和动态系统模型的广泛例子的情况下，重要的是结构而不是数字，这是一个最困难的观念。为了进一步讨论它，请参看J·w·福雷斯特：《城市动力学》（Urban Dynamics）的第六章（Cambridge,Mass:MIT Press,1969）。）由于我们只想用这个世界模型来回答行为方式问题，而不是作确切的预言，我们首先关心的是反馈回路结构的正确性，其次才是资料的准确性。当我们真的开始寻求更加详细的近期知识时，确切的数字当然会变得重要得多。

第三，如果任何级别上的决策者们已经能够对政策选择进行充分确切的预言和科学上正确的分析，我们当然不会为根据不完全的知识建成或发表一个模拟的模型而伤脑筋。遗憾的是，今天在评价重要政策问题上，还没有适用的完备模型。此刻，对于这种根据不完全知识构成的模型来说，唯一可供选择的模型，是建立在不完备的知识基础上的，是精神模型，是以不完全的信息和直觉的混合物为基础的，当前大多数政治决策后面都有这种直觉。一个动力学模型处理一个直觉模型同样是可以得到的不完备的信息，但是， 它允许把许多不同来源的信息，组织成一个可以精确地加以分析的反馈回路结构。所有假定一旦集中在一起，并被记录下来，就可以面临批评，并且可以检验这系统对可供选择的政策的反应。

世界模型的行为

现在，我们要最后认真地考虑一下我们在这一章开始时提出的问题了。随着这个世界系统向它的最终极限增长，它的最有可能的行为方式是什么？随着指数增长曲线达到平衡，现有的什么关系会改变？当增长结束时，这世界会像什么？

当然，对这些问题可能有不同的回答。我们将检验几种不同的选择，每一种选择取决于人类社会对各种增长的极限所引起的问题将如何回答所做的一整套不同的假设。

让我们从假定未来在人的价值方面没有大的变化开始，在全球人口—资本系统方面，像它在最近100年中所起的作用那样，也没有大的变化。这种假定的结果，如图35所示。我们将把这种计算机输出称为“标准趋势”，并利用它同以遵循其他假定的趋势作比较。图35中水平尺度表

示，从1900年到2100 年的时间。我们借助于计算机标绘了八个量在时间上的进展：

———人口（总人数）

------人均工业产量（相当于每人每年美元数）

_ _ _ 人均粮食（相当于每人每年公斤谷物）

—·—·—污染（1970年标准的倍数）

……………不可再生的资源（1900年保持的储藏量的一小部分）

B 天然出生率（每千人每年出生数）

D 天然死亡率（每千人每年死亡数）

s 人均服务（相当于每人每年美元数）

每一个变量按不同的垂直尺度标绘。我们故意略去了垂直尺度，我们已经做出了有点模糊的水平时间尺度，因为我们想要强调这些计算机输出的一般行为方式，而不是仅仅近似地知道数值。可是，在这里使用的不同类型计算机的尺度恰好是相同的，所以，很容易比较不同趋势的结果。

这个“标准”世界模型趋势假定，在历史上支配这个世界系统发展的物质关系、经济关系和社会关系没有重大变化。在这里标绘的所有变量，符合从1900—1970年的历史上的值。粮食、工业产量和人口按指数增长，直到迅速地减少的资源基础迫使工业增长减速。因为这系统中自然的滞后往往发生在工业化高峰以后，人口和污染继续增长。由于粮食和医疗服务减少，死亡率上升，人口增长最终停止了。

模型中的所有标准（人口、资本、污染，等等），从1900 年的值开始。图35中所标绘的变量以及这个模型中没有标绘的其他许多变量，与我们知道的这些变量在历史上的值一般是一致的。人口从1900年16亿上升到1970年的35亿。虽然增长率逐渐下降，死亡率下降得更快，尤其是在1940年以后，人口增长率提高了，人均工业产量、粮食和服务按指数增长。资源基础在1970年大约仍然是1900年值的95％，但是，此后随着人口和工业产量继续增长，资源基础令人注目地削弱了。

显然，图35中所表示的系统的行为方式是过头的和崩溃的。在这种趋势中，因为不可再生的资源耗尽而发生崩溃，工业资本贮存增长到需要大量输入资源的水平。在这种增长过程中，它消耗一大部分可以得到的资源的储藏量。当资源价格上升和矿藏耗尽时，越来越多的资本必须用于获得资源，只剩下极少投资用于未来增长。最后，投资不能跟上折旧，工业基础崩溃，随之崩溃的还有依赖于工业投入的资金（例如化肥、农药、医院实验室、计算机，特别是机械化的能源）的服务和农业系统。这种形势就短时期而言尤其严重。人口因其年龄结构和社会调节过程中所固有的滞后情况，继续上升。当死亡率由于缺少粮食和健康服务而上升时，人口最终减少。

确定这些事件的确切时间是没有意义的，已知这模型是巨大的集合体而且有许多不确定的因素。而增长很可能在2100 年以前停止则是有意义的。我们已经试图在每一种不确定的情况下，对未知的量做出最乐观的估计，我们也忽略了不连续的事件，例如，战争或者时疫等事件，使增长结束的到来要比我们的模型所指出的更快。换句话说，这模型倾向于允许增长继续得比它在现实世界中可能继续得更长久。因此，我们可以有信心说，在现有系统没有重大变化的假定下，人口和工业的增长，最迟在下一个世纪内一定会停止。

图35中表明了这系统因为资源危机而崩溃。如果我们对全球资源贮存的估计错了会怎样呢？在图35中，我们假定，按1970年的利用率，全部资源的供应在1970年是250年。在第二章中资源表的静态储量指标栏会证实，这个假定确实是乐观主义的。但是，让我们变得甚至更乐观，并假定，新发现或技术上的进展能使经济上可用的资源总量翻一番。图36表明在这种假定下计算机所指出的趋势。图36中表明的增长和崩溃的总的行为方式，同标准趋势中的行为方式是很类似的。尽管可以得到的资源总量翻了一番，不过因为工业按指数增长， 不用几年就足以消费那些附加的资源，因此资源还是会急剧地耗尽。因此，工业产量下降，而且一旦资本密集的农业变得不可能存在，粮食生产也降低。在这种趋势中，工业增长必然使环境的天然吸收能力负荷过重。因此，死亡率由于污染和由于缺乏粮食而上升。

为了检验这模型关于可用资源的假定，我们把1900年的资源储藏量翻了一番，其他所有假定同标准趋势中的那些假定完全相同。由于资源不是消耗得这么快，现在工业化可以达到一个比较高的水平。但是，比较大的工厂以这样的违章在排放污染物质，环境污染吸收机制饱和了。污染上升得很快，引起死亡率略微增加。最后，当下降的工业产量不再

能维持资本密集的农业时，结果是粮食生产降低。尽管原来可用资源总量翻了一番，这种趋势的结果仍是资源急剧地枯竭。

这个世界系统的未来是注定要增长，然后崩溃为凄凉的和枯竭的生活吗？只要我们所作的最初的假定，即我们现在做事情的方式不变，情况就是如此。我们有充分的证据证明人类有独创性和社会有灵活性。毫无疑义，这个系统中很可能有许多变化，其中有些变化已经发生。绿色革命在提高非工业化国家的农业产量，关于控制生育的现代方法方面的知识在迅速地传播。让我们用这个世界模型作为一种工具，检验有希望提高增长的极限的新技术的可能产生的后果。

由于工业进步，社会在趋向什么最终目的呢？当进步停止时，我们预期它会使人类处于什么条件里呢？

——约翰·斯图亚特·穆勒，1857年

虽然，人类在有限的物质环境中努力奋斗的历史，包含着大量的失败事件，但是由于不断克服这种限制，成功地形成今天在世界上占优势的许多民族的文化传统。在过去300年间，由于一系列惊人的技术进展，人类创造了感人的记录，即已经把人口和经济增长的极限向后推移。由于大部分人类社会近期历史的不断成功，许多人期望技术上的突破，以使物质水平最大限度地继续提高成为十分自然的事情。这些人谈论未来时，对技术抱有明显的乐观主义。

不论在原料方面还是在能源方面，都没有看到实际的极限，不能期望靠价格结构的改变，代用品、技术上预期的收获和控制污染来解决。

现在地球上粮食生产的能力和追加粮食生产的潜力是已知的，只要更加充分地利用现代技术，人类显然已经掌握住在一二十年内把饥饿从地球上驱逐出去的能力。

人类掌握着巨大的、无生命的、用不完的能源，并利用较少的海洋、空气、空间技术去做很多事情，这些证明马尔萨斯是错误的。现在，人类可以在1/4 世纪中取得综合性的和经济上的成就。

这些声明能同我们在这里讨论的增长的极限的证据一致吗？新技术会改变这个世界系统盛衰的趋势吗？在接受或者拒绝这些从技术上解决人类问题的乐观主义观点以前，人们想要就新技术对全球以及对人口—资本系统中的五个相互连结的部分的短期和长期影响知道得更多一些。

世界模型中的技术

在这个世界模型中，“技术”不是单独的变量。我们没有发现把技术发展的动态含意集合和普遍化的可能，因为不同的技术是从这个模型的

十分不同的部分出现的，并影响着它。避孕药丸、高产谷物、电视和海上石油钻井，全部可以被认为是技术的发展。但是，每一种技术发展，在改变这个世界系统的行为方面，都起着独特的作用。因而，我们必须在这个模型里分别表示每一种技术，仔细考虑它会怎样影响我们对这个模型要素已经做出的每一个假定，在这一节里，我们将提出研究全球长期“技术评估”方法的一些例子。

能源和资源

控制核裂变技术已经提高了即将来临的矿物燃料资源的极限，核中子增殖反应堆，甚至热核反应堆能相当大地延长裂变燃料如铀的寿命。这是否意味着人类已经掌握了“巨大的、无生命的、不可穷尽的能源”，能为其工业提供无限的原料呢？日益增加核动力的作用，对这个世界系统可得到的资源会有什么影响呢？

有些专家相信，丰富的能源会使人类有可能发现和利用其他很难得到的原料（例如，在海底）；处理贫矿，甚至普通的岩石；使固体废料再循环，收回其中含有的金属。虽然这是普遍的观念，但决不具有普遍的意义，正如地质学家汤姆斯·洛弗林在下面的引文中指出的：

事实上，廉价的能源几乎不能减少采矿和处理岩石所需要的总成本（主要是资源和劳动）。在普通的花岗岩中，每单位金属所产生的大量不可用的废料（比例至少2000比1），在蓝图上要比在矿区里更容　易处理……要使矿物重新有用，岩石必须用炸药粉碎，为投入和重新获得矿物而钻井，并灌满含有专门精炼的化学药品的溶液。于是，必须制定避免溶液损失的条款，接踵而来的是地下水和地表水污染。这些作用不会由于核动力而消除。

可是，让我们假定，技术乐观主义者是正确的，核能会解决这个世界的资源问题。图37表示在这个世界模型里包含这个假定的结果。如图36所示，为了表示利用较低品位矿石和海底采矿的可能性，我们已经使可以得到的资源总量翻了番。 我们还假定，从1975年起，回收和再循环规划会使每单位工业产品所需要的未经利用的资源投入减少到今天用量的1/4。人们公认，这两个假定比现实主义更乐观。

在这个世界模型系统里，资源耗竭问题由两个假定排除了：第一，“无限的”核动力会使可以利用的资源储藏量翻一番；第二，核能会使广泛的再循环和代用计划成为可能。如果这些变化是引进这个系统中

唯一的变化，增长由于污染上升而停止。

在图37中，确实没有发生资源短缺。人口增长是由于污染而停止的。没有任何来自资源的限制，因而工业产量和服务比他们在图36中下降以前有所上升。人口达到图36中同样高的水平。

因此，“无限的”资源看来并不是维持这个世界系统增长的关键。显然，如果要避免这个世界系统的崩溃，就要提供这种可用资源的经济动力，还必须伴随对污染的抑制。

控制污染

我们在图37中假定，核动力的出现，既没有增加也没有减少每单位工业产品所产生的平均污染量，核动力对生态的影响还不清楚。消耗矿物燃料的某些副产品，例如二氧化炭和二氧化硫会减少，而放射性副产品却会增加。资源再循环当然会减少固体废料的污染和某些有毒金属的污染。然而，转变到核动力对其他大多数类型的污染，包括大多数制造过程的副产品、热污染和由农业实践引起的污染，几乎没有什么影响。

可是，一个很快就可以使用核动力的世界社会，大概有能力用技术手段控制工业污染的产生。在工业化地区已经大规模地发展和安装了控制污染的设备。比如说，在1975年，如果制定了严格控制污染的政策，这个模型的行为会怎样变化呢？

一个日产2700吨的甜菜糖厂，当排放标准接近完全洁净的时候，减少有机废料所增加的费用急剧上升。所需要的生物氧（分解废料所需要的氧的量度）减少到30%时，费用小于每磅1美元。减少超过65%，每磅需要20美元以上，减少达到95%时，每磅需费60美元。

来源：环境质量委员会第二个年度报告（Second Annual Report of the Council on Environmental Quality（Washington，DC：Government Printing Office 1971）。

严格控制污染并不一定意味着完全控制污染。因为有技术上的和经济上的限制，要消灭一切污染是不可能的。在经济上，控制污染的费用随着排放标准变得更加严格而上涨。图38表示，一个制糖厂减少水质污染的费用是消除有机废料的一个函数。如果工厂不允许留下有机废料，费用会比仅从排放物中消除30%的废料大100倍。下面表6表示，美国城市减少空气污染的规划费用中有类似的趋向。

表6 在一个美国城市中减少空气污染的费用

减少SO_2的百分率减少微粒的百分率规划的费用$（万）

5225

426675

48692600

假定从1975年开始，减少图37的资源消耗以及减少从一切来源产生的污染，都以4为因子，在图39中标绘了这个世界模型的产量。减少到现在产生污染的速度的1/4，可能是不现实的。因为费用很大，也因为消灭某几种污染，例如核动力产生的热污染和放射性同位素、化肥流失和来自刹车衬垫的石棉粒子等，很困难。为了用这个模型做试验的目的，我们假定，在污染方面，全球很快能发生这样的锐减，这不是因为我们相信我们现在的制度在政策上是可行的。正如图39所示，控制污染政策在减少以前污染危机趋向方面，确实是成功的，人口和人均工业产量，在图37中超过它们的峰值上升得很好， 而且，资源耗竭和污染决不会成为严重的问题。可是，过分的方式仍然起作用，这时发生崩溃首先来自粮食短缺。

1975年，这个世界模型增加了技术上的进一步改良，以避免以前模型趋势的资源耗竭和污染问题。在这里，我们假定，每单位工农业产量所产生的污染，可以减少到1970年值的1/4。 资源政策像图37一样。这些变化直到可耕地达到极限为止，允许人口和工业增长。随着资本转向粮食生产，人均粮食下降，工业增长也慢了。

在图39中，只要工业产量在上升，每公顷土地的产量也继续上升（直到最高是1900年平均产量的十倍），新土地也开辟利用了。可是，同时，有些可耕地被用于城市工业，而且有些土地被侵蚀了，特别是被资本集约化的农业活动侵蚀了，最后，达到了可耕地的极限。在这一点以后，随着人口继续上升，人均粮食下降，当粮食短缺变得明显的时候，工业产品转向农业，以增加土地产量。可用于投资的资本较少，最后人均工业产量开始降低。当人均粮食下降到口粮水平以下时，死亡率开始上升，导致人口增长的终止。

增加粮食产量和控制生育

图39中的问题，既可以被看成是粮食太少，也可以被看成是人口太多。技术上对第一种形势的回答是要生产更多的粮食，也许通过进一步扩大绿色革命（发展高产谷物的新品种构成的绿色革命，已经包括在原来的模型方程里了）。技术上对第二个问题的解决，是要提供更好的控制生育的方法。1975年开始的这两个方面变化的结果，同我们已经讨论过的资源利用和产生污染一起，在图40、41和42中分别同时表明了。

在图40中，我们假定，全世界的每公顷土地正常产量可以进一步增加二倍。结果是粮食工业产品和人均服务大量增加。全世界人民每人平均工业产量在短期内接近于1970年美国的水平。虽然严格控制污染的政策仍然有效，以致每单位产品的污染减少到1/4，工业增长得很快，产品不久就增产四倍。因此，尽管有控制污染的政策，污染的水平还是上升，而且死亡率增加。此外，集约的农业实践引起土地侵蚀，并导致粮食短缺。

要避免以前的模型中粮食危机的趋势，除以前诸图中的污染和资源政策以外，土地平均产量在1975年翻了一番。这三项政策的结合，为增长消除了许多强制因素，以致人口和工业达到了很高的水平。虽然每单位工业产量产生的污染少得多，但由于总产量上升，还是造成污染危机。此外，土地的集约利用，导致土地侵蚀和食品短缺。

图41表示另一种技术政策从1975年开始，自愿实行完全控制生育的政策。该政策不是要完全停止人口增长，只是防止生育不想要的孩子，出生率确实显著下降，而人口增长比图39和40中更慢。在这种趋势中，增长是由于粮食危机停止的，大约比图39中晚20年发生。

不是增加粮食生产，而是增加控制生育的效力，作为防止粮食问题的一项政策来试验。因为，控制生育是自愿的，并不改变任何价值，人口继续增长，但是比图39中更慢。不过，这只使粮食危机推迟了一二十年。

四个同时起作用的技术政策被引进世界模型，目的是避免过早发生增长或者崩溃行为。资源得到充分开发，75%的资源获得循环利用。污染减少到1970年的1／4，土地产量翻一番。通过有效的办法，生育得到控制，其暂时的结果是世界人均收入几乎达到美国水平。最后，当资源枯竭、污染积聚、粮食生产下降时，工业的增长停止，死亡率上升。

在图42中，我们同时采用增加土地产量和完全控制生育。在这里，

我们在这个世界模型的每一部分，利用一种技术政策，以某种方式阻止各种增长的极限发生。这个模型系统是生产核动力，使资源再循环，开采最远的储藏量，抑制尽可能多的污染物质，把土地的产量推向梦想不到的高度，只出生父母积极想要的孩子，结果在2100年以前，增长仍然要结束。在这种情况下，增长是由于三个同时发生的危机停止的。土地使用过度导致侵蚀，粮食生产下降，资源由于繁荣的世界人口而严重地耗尽（但不像美国现在的人口那么繁荣）。污染上升，引起死亡率略微上升。单用技术上的解决，已经延长了人口和工业增长的时间，但是并没有排除增长的最终极限。

过分的方式

这个世界模型有许多近似和局限，但对它趋向于产生一系列灾难，并没有过忧虑重重的详细论述。我们要再一次强调的恰恰是这些计算机的输出，没有一个是预言。我们并不希望，现实世界像我们已经在这个世界模型的任何一张图中所显示的那样，以崩溃方式出现。这个模型只包含人类活动的物质方面的动态陈述。它假定，社会变量——收入分配、对家庭规模的态度、对商品、服务和粮食的选择——将继续遵循它们在世界近期历史中已经走过来的模式。这些模式以及它们代表的人类价值，全部是在我们的文明的增长阶段建立的。随着人口和收入开始减少，这些模式当然要大大修正。因为我们发现，很难想象，在崩溃的条件下，人类社会行为会出现什么新形式，以及这些新形式会出现得多快。我们没有试图做这种社会变革的模型。我们的模型仅对每一张输出图中的增长结束、崩溃开始这一点仍然有效。

在现在的世界模型中，有许多近似和简化，我们对此虽然有许多保留，但它已经使我们得出一个结论，迄今为止，在我们已经检验过的一切假定下看来是正确的。这个世界系统的基本行为方式是人口和资本的指数增长，随之而来的是崩溃。正如我们在这里提出的模型趋势所表明的，只要我们假定，在现在的系统中没有变化，或者只要我们假定在这个系统中有许多技术变革，这种行为方式就会发生。

我们在这一章里已经提出的这个模型趋势后面还没有说过的假定是，应当允许人口增长和资本增长继续下去，直到它们达到某个“天然的”极限。这个假定看来也是现在在现实世界中起作用的人类价值系统的基本部分。每当我们把这种价值同模型相结合，就会导致这个增长着的系统超越其最终极限而崩溃。当我们引进技术发展时，成功地解除了对增长的某些约束，或者避免了某些崩溃，这个系统只不过增长到另一个

极限，暂时超过它，又退回来。已知第一个假定是，人口增长和资本增长不应当故意地加以限制，但应当让它们去“探索自己的标准”，我们还没有能发现一套避免崩溃的行为方式。

事实上，要理解这个崩溃方式怎样发生并不困难。我们已经发现，在构成这个世界系统的相互连结的反馈回路网络中，通过引进原因和最终结果之间的滞后来表达现实世界的状态，是必要的。这种天然的滞后，不可能用技术手段控制。例如，一个婴儿出生和这个婴儿第一次能生孩子的时间之间大约有 15年的滞后。人口年龄所固有的滞后和这种人口在出生率对改变着的条件做出反应的能力之间，也有某种不可避免的间隔时间。释放一种污染物质进入环境的时间和这种污染物质对人类健康有显著影响的时间之间发生另一种滞后。这种滞后包括污染物质通过空气、河流或土壤进入食品链的通道，也包括从人类摄取或吸收这种污染物质，直到临床症候出现为止的时间。第二种滞后，就某些致癌物质来说，可以长达20年。因为资本不可能立即从一个部门转移到另一个部门，以适应变化着的需要。因为新的资本和土地只能逐渐地产生和发展，因为污染只能慢慢地传播或由无害的形式代谢，而发生其他滞后。

只要一个动态系统本身在经历迅速的变化，滞后就有重要的结果。一个简单的例子也许能澄清这个陈述。当你驾驶一辆汽车时，在你感到你面前的这条路和你对它做出反应之间有一个很短的、不可避免的滞后。在你对加速器或刹车的行动和汽车对这种行动的反应之间有较长滞后。你已经学会处理这些滞后。你知道，因为有这种滞后，车开得太快是不安全的。如果你开得太快，你或早或迟，肯定会经历到过头和崩溃的方式。如果你被蒙住眼睛，而必须根据前座乘客的指示来开车，在知觉和行动之间的这种滞后会长得多。处理这延长了的滞后，唯一安全的方法总是慢下来。如果你试图按你的常规速度驾驶，或者如果你试图不断加速（像在指数增长中那样），结果就会是灾难性的。

这个世界体系的反馈回路中的滞后，恰好一样，只要这系统增长得很慢，或者根本不增长，就会是没有问题的。在这些条件下，任何新行动或政策，都可以逐步实行，变化可以通过这种滞后，在必需引进其他一些行动或政策以前，反馈到这一系统的每一个部分。可是，在快速增长的条件下，这个系统对旧的政策和行动的结果可以适当地进行估价以前很久，就被强加以新的政策和行动。当按指数增长的时候，这个系统总是在更快地变化，情况甚至更坏。

因此，受指数增长驱使的人口和资本，以其固有的滞后，不仅达到

它们的极限，而且在这系统停止之前，暂时超过它们，作用增加，并使之停止。按指数增长量产生的污染可以上升得超过危险点，因为危险点是在这种令人不愉快的排放以后几年才第一次被发觉的。一个迅速地增长着的工业系统，依靠一定的资源，可以逐步建立资本的基础，然后才发现按指数缩减的资源储藏量不能维持它。因为年龄结构中的滞后，甚至在平均人口出生率已经降到换代标准（每对夫妇平均二个孩子）以后，人口仍会继续增长达70年之久。

现实世界中的技术

技术乐观主义者的希望集中于技术能够改变或扩展人口和资本的增长极限的能力，我们已经表明，在这个世界模型里，技术应用于资源耗竭、污染或粮食短缺等明显的问题时，对一个有限的，按指数增长的复杂系统基本问题没有影响。在这个模型里，我们甚至尝试对技术产生的利益予以最乐观的估计，但也不能防止人口和工业的最终下降，而且事实上无论如何不会把崩溃推迟到2100年以后。我们在下一章中要检验其他政策，这些政策不是技术政策。在此以前，让我们把我们对技术上解决问题的讨论，扩展到这个世界模型所不可能包括的技术的某些方面。

技术的副作用

加勒特·哈定博士为副作用下的定义是“我没有预见到的，或者不想考虑的作用”。他已经暗示，由于这种作用同主要作用，事实上是不可分的，它们根本不应当被称为副作用。每一项新技术当然都有副作用，建立模型的主要目的之一是要预见这些作用。在这一章里，模型的趋势已经表明了不同技术对这个世界的物质系统和经济系统的副作用。遗憾的是，这个模型没有指出在这个阶段上新技术的社会副作用。这些作用从技术对人民生活的影响方面来说，往往是最重要的。

随着绿色革命引进到这世界的农业社会，一次成功的新技术的社会副作用出现了。这是最近的一个例子：绿色革命利用新种子、化肥农药相结合的方式，预先计划好要在技术上解决世界粮食问题。这种新的农业技术的计划人员，预见到它可能在传统文化中引起某些社会问题。绿色革命不仅想要生产更多的粮食，而且是劳动密集的，提供就业，而不需要大量资本。在世界的某些地区，例如，印度的旁遮普，绿色革命确实已经增加了许多农业职位，比总人口的增长率更快。在东旁遮普，从1963年到1968年，实际工资增加了60%。

绿色革命的主要作用，或者预期的作用是增加粮食生产，这点好像已经达到了。社会副作用在于，在大多数引进了新种子的地区并不是完全有益的。印度旁遮普在绿色革命以前，有一个异常公正的土地分配制度。在非工业化世界里，更为普通的土地占有方式是大多数人工作的农场很小，少数人占有大量土地。

在这些经济上不平等的条件已经存在的地方，绿色革命趋向于扩大不平等。大农场主通常首先采用新方法。他们有这样做的资本，能冒风险。新种子虽然不需要机械化的拖拉机，尤其是在一年几种的地方，需要快收和复种，机械化提供许多经济刺激。在大农场上，简单的经济考虑，几乎必然导致利用机械代替劳动力和购买更多的土地。这种社会—经济的正反馈回路的最终结果是增加农业失业，并向城市迁移，甚至增加了营养不良，因为穷人和失业者没有钱去买新生产的粮食。

下面描述绿色革命在土地分配不平均地区中的社会副作用的特殊例子：

今天在西巴基斯坦，一个没有土地的劳动力的收入仍然同五年前差不多，低于每年100美元。作为对比，这个冬天当我们在巴基斯坦的时候，一个有1500亩小麦农场的地主告诉我们，他已经结清，根据他的最后一次收获，纯利润超过10万美元。

墨西哥的统计资料提供了另一个例子，在那里，绿色革命是40年代开始的。在墨西哥，从1940年到1960年，农业生产的平均增长率是每年5%。可是，一个没有土地的劳动力，从 1950年到1960年，平均劳动天数从194天下降到100天，他的实际收入从68美元减少到56美元。增加的农产品18%来自 3%的农场。

这些意想不到的社会副作用，并不意味着绿色革命的技术是不成功的。这种社会副作用确实意味着，在大规模引进新技术以前，必须预见和防止这种社会副作用。

随着农业从传统的维持生活的状态转变为现代的商品化农业，……保证耕种土地的人直接增加适当的 报酬，逐渐变得更加重要了。在拉丁美洲和撒哈拉以南的非洲，除非土地登记注册，立契转让和更加平均 地分配，确实很难看到能有任何有意义的粮食生产现代化。

这样，技术变革至少需要大量准备时间。按办事的常规方法，每一

项变革都需要一段调整时间，而居民则自觉地或不自觉地调整它的社会制度以适应这种变革。虽然技术可以迅速地变革，但政治制度和社会制度一般变革得很慢。而且，它们几乎决不会在社会需要之前发生，只是对社会需要的反应。

我们已经提到过在这个世界模型里物质上滞后的动态结果，我们也必需记住社会上滞后的存在——社会吸收或者准备一种变革所必需的滞后。物质上的或者社会上的大多数滞后，都减少这个世界系统的稳定性，增加超越方式的可能性。社会的滞后像物质的滞后一样，日益变得更加紧要了，因为，指数增长的过程按越来越快的速度在创造附加的压力。世界人口从10亿增长到20亿用了100多年的时间。增加第三个10亿用了 30年时间，而且不到20年世界人口就要准备第四个10亿。2000年以前，即从现在起不到30年，也许会达到，第五个、第六个，甚至第七个10亿。迄今为止，技术变革的速度虽然已经处理得能跟上这种加速的步伐，人类实际上并没有做出新的发现来提高社会的（政治的、伦理的和文化的）变革速度。

技术所不能解决的问题

当美国的城市是年轻的时候，它们增长迅速。土地丰富而廉价，新建筑不断矗立，城市地区的人口和经济产量也增加了。可是，城市中心的所有土地，最终挤满了。物质的极限已经达到，城市的这个部分中人口和经济增长似乎将要停止。对此，技术上的回答是发展摩天大楼和电梯，它排除了土地面积这个抑制增长的因素。中心城市增加了更多的人和更多的商业。然后，随着商品和工人进出密集的市中心不够畅快，一个新的强制因素出现了。解决办法又是技术上的——高速公路网，大量运输系统，最高建筑物顶上的直升飞机场建设起来了。运输极限被克服，建筑物更高了，人口增加了。

现在，大多数美国的大城市已经停止增长（十个最大的城市中有五个，纽约、芝加哥、费城、底特律和巴尔的摩的人口从1960年到1970年减少了。华盛顿，哥伦比亚特区，没有显示变化。洛杉矶、休斯敦、达拉斯和印第安纳波利斯继续增长，至少部分是由于在兼并附加的土地）。比较富裕的人有经济条件选择，他们迁移到正在向城市四周扩大的郊区。中心地区的特征是喧闹、污染、犯罪、吸毒成瘾、贫困、罢工和社会服务崩溃。城市中心的生活质量已下降。部分由于各种问题没有技术上的解决办法，增长已经停止。

技术上的解决办法可以定义为“仅仅需要自然科学技巧方面的变革，而无须考虑人类价值或道德观念方面的变革方式”。今天有许多问题并没有技术上的解决办法。例如核军备竞赛、种族的紧张状态和失业。即使社会的技术进步把所有期望的事情都付诸实现，还存在技术上所不能解决的问题，而这些问题的相互作用的结果，最后会带来人口增长和资本增长的终结。

极限的选择

在过去，环境加给任何增长过程的自然压力中，技术应用是如此成功，以致整个文明是在围绕着与极限作斗争而进展的，而不是学会与极限一起生活而进展的。这种文明由于地球及其资源显然很庞大和人类及其活动相对渺小而加强了。

但是，地球的限度和人类的活动之间的关系是变化的。按照指数曲线增长的几百万人和几十亿吨污染物质每年加给生态系统。甚至一度看来好像实际上是不可穷尽的海洋，也在一个接一个地失去商业上有用的生物品种，联合国粮食组织最近的统计资料指出，世界渔业的总捕获量，自1950年以来，第一次在1969年减产，尽管捕鱼活动更加机械化和集约化了（在商业上有用的品种中间，日益变得稀少的是斯堪的那维亚鲱鱼、步鱼和大西洋鳕鱼）。

然而，人类似乎并没有认识到正在奔向地球的显而易见的极限。捕鲸业的历史（如图43所示）表明了就一个小系统来说，试图在有限环境中永远增长的最终结果。捕鲸者有计划地达到一个又一个极限，并试图用增加动力和技术来克服每一个极限。结果，他们已经消灭了一个又一个品种。这种永远增长的特殊政策的结果，只能是最终消灭鲸鱼和捕鲸者。另一种政策是对每年捕鲸数量，强加一个人类规定的限度，使鲸鱼密度保持稳定状态。对捕鲸自己规定一个限度会是一种令人不愉快的压力，它会阻碍捕鲸工业的增长。但是，它对于避免鲸鱼和捕鲸产业的逐渐消失也许是更可取的。

随着野生鲸群被消灭，寻找幸存者已经变得更加困难，并且需要做出更多努力，等较大的鲸鱼被杀光，较小的鲸鱼就被用以保持鲸鱼工业存在。可是，由于从来没有品种的限制，无论什么地方和什么时候遇到大鲸鱼就捕杀。因此，小鲸鱼就被用来补充大鲸鱼的灭绝。

来源：罗杰·佩恩：《在野生鲸鱼中间》，（Among Wlid Whales）

（The New York Zoological Society Newsletter，November 1968）。

捕鲸业所面临的基本选择，同试图用新技术克服天然极限的任何社会所面临的基本选择是相同的。通过对增长规定能接受的一个自己的限制。并试图在这个极限范围内生活是否好呢？或者是要继续增长，直到面临其他一些天然极限，到那时希望另一种技术上的飞跃，从而允许增长持续得更长久是否更可取呢？最近几百年人类社会遵循第二个方针一直很成功，以第一种选择已经完全被忘掉了。

对必须立即停止人口增长和资本增长的见解可以有许多不同意见。但是，事实上没有一个人会争辩说，这个行星上的物质增长可以永远继续下去。在人类的历史上，对这个问题，上面提出的选择，几乎在人类活动的每一个领域里都仍然是有效的。人类仍然可以通过削弱某些促使资本和人口增长的强大压力，或者通过施加反压力，或者双管齐下，来选择他的极限。这样的反压力很可能不会是令人愉快的。它们当然会包含社会经济结构方面的深刻变化，由于几个世纪的增长，已经给予人类文化以极为深刻的影响。另一种办法是等待，直到技术的价格变得超过社会所能支付的水平，或者直到技术的副作用抑制增长本身，或者直到所发生的各种问题没有技术上的解决办法为止。在这些问题上，极限的选择将无法挽回。增长将被迫停止，不是由于人类选择的压力，而是像这个世界模型指出的，也许比社会可以为它自己选择的那些极限要坏得多。

我们已经感到，在这里对技术这么冗长地详加研究是必要的。因为，我们已经发现，对我们根据这个世界模型所得到的发现的最普通和最危险的反应，就是技术乐观主义。技术可以不影响根本原因而减轻问题的征候。因此，相信技术是一切问题的最终解决办法，能转移我们对在有限系统中增长的这一基本问题的注意，并妨碍我们采取有效行动去解决这个问题。

另一方面，我们自己是技术人员，在技术机构里工作。我们的意图当然不是把技术歪曲成无用的或者不必要的。我们坚定地相信，就像我们在下一章里将要指出的，在这里提到的许多技术发展——再循环、控制污染的设备、避孕药——只要深思熟虑地与控制增长相结合，对人类社会的未来确实是必不可少的，正如我们在这里对不加思考地接受技术的好处表示反对一样，我们对不加思考地拒绝技术的好处同样感到很遗憾。谢拉俱乐部的座右铭：“不要盲目地反对进步，但是反对盲目的进步。”也许是我们的观点的最好总结。

我们希望，社会会接受每一项新的技术进步，但在广泛采用这项技术以前，要对三个问题作出回答。这三个问题是：

1，如果大规模引进这种发展，会有什么物质上和社会上的副作用？

2．在这种发展可以彻底完成以前，什么社会变革是必要的？完成这种变革需要多久？

3．如果这种发展完全成功，并排除某些天然的增长的极限，这个增长着的系统下一步会遇到什么极限？社会是否宁愿选择这种发展预先计划好要排除的某一极限的压力呢？

现在，让我们继续研究应付有限世界中的增长的非技术的途径。

许多人认为，一个国家为了幸福不得不是大的；但是，即使他们是正确的，他们也没有什么是大国和什么是小国的观念……，像其他事物、植物、动物、工具一样，国家的规模也有一个界限，当它们过大或者过小时，这些事物没有一个能保留它们的天然能力，它们或者完全失去了他们的本性，或者被损坏了。

——亚里士多德

公元前322年

我们已经看到，在没有抑制的情况下，正反馈回路导致指数增长。在这个世界系统中，现在有两个正反馈回路处于优势，引起人口和工业资本的指数增长。

在任何有限系统中，必须有抑制才能停止指数增长。这种抑制是负反馈回路。随着增长接近于这个系统所处环境的最终极限或负荷能力，负反馈回路变得越来越强。最后，负回路与正回路平衡，或者处于支配地位时，增长就结束了。在这个世界系统中，负反馈回路包括环境污染，不可再生资源的耗竭和饥荒等一些过程。

这些负回路的行动所固有的滞后，允许人口和资本超越它们最终可以维持的水平。超越的时期是资源的浪费，通常也降低环境的负荷能力，加剧人口和资本的最终下降。

来自负反馈回路停止而增长的压力，在人类社会的许多部分已经感觉到了。社会对这些压力的主要回答，已经指向负反馈回路本身。技术上的解决办法，例如为第四章中所讨论过的那些办法，已经计划要削弱负回路或者掩饰负回路所产生的压力，以便能继续增长。这样一些办法在减轻由增长引起的压力方面可能有一些短期效果。但是，在长期趋势方面，它们并不能防止过头和随之而来的系统崩溃。

对于由增长造成的各种问题的另一种回答，是要削弱引起增长的正反馈回路。这样一种解决办法几乎从来没有被任何现代社会承认是合理的，而且它当然也没有有效地实行过。这样一种解决办法包括什么政策呢？会产生什么样的世界呢？在历史上，这种方法几乎没有先例。因

此，没有可供选择的方案，只能用模型——或者是精神模型，或者是形式上以书面模型 ——来讨论它。如果我们在模型中包含某些故意控制增长的政策，这个世界模型会怎样行动呢？这样一种政策变化会产生 “更好的”行为方式吗？

当我们用“更好的”这样一些词，并在可供选择的模型输出中间选择的时候，我们作为实验者是在把我们自己的价值观和偏爱插入这种模型过程，在我们可以起决定作用的范围内，构成这模型的每一个因果关系的价值，是这个世界的实际起作用的价值。促使我们把计算机输出评定为“更好的”或者“更坏的”的价值观，是做模型的个人及其听众的价值观。我们通过拒绝过头和崩溃的模式，已经断定我们自己的价值观系统是不合乎需要的。现在，我们在寻求“更好的”结果，我们必须尽可能清楚地为这个系统确定我们的目的。我们在探讨一种模型输出，它代表一切的世界系统：

1．可以维持，没有突然的和不可控制的崩溃；

2．可以满足全体人民的基本物质需要。

现在让我们来看看，在这个世界模型中什么政策会带来这样的行为。

自觉抑制增长

你会回想起，引起人口增长的正反馈回路，包括出生率和所有影响出生率的社会经济因素，被死亡率的负回路抵消了。由出生率的正回路引起的世界人口势不可挡的增长是最近的现象，是人类极为成功地减少全世界的死亡率的结果。起控制作用的负反馈回路已经削弱了，允许正回路实际上不受抑制地起作用。要恢复这种已经造成的不平衡，只有两种方式：或者是出生率必须降低到等于新的较低的死亡率，或者是死亡率必须重新上升。对人口增长的所有“天然的”抑制因素都按第二种方式起作用，这种方式就是提高死亡率。希望避免这种结果的任何社会都必须采取审慎的行动来控制正反馈回路，以减少出生率。

在一个动态模型中，要抵消脱离控制的正反馈回路，是一个简单的问题。暂时，让我们把政治上可行的需要挂起来，而用这个模型来检验限制人口增长的物质含意，而不是社会含意。我们只需要给这个模型再加上二个因果回路，把出生率和死亡率联系起来。换句话说，我们需要

每年婴儿出生数等于当年人口中预期的死亡数，因此，正负反馈回路恰好平衡。随着死亡率因为更好的食品和医疗上的照顾而降低，出生率同时会降低。这样一种需要在数学方面是简单的，而在社会方面是复杂的，对于我们的目的来说，是一种实验工具，而不一定在政治上是可取的。（这种稳定人口的建议原先是由肯尼思·E·博尔丁在《20世纪的意义》（The Meaning of the 20th Century）（New York：Harper and Row，1964）中提出的。）图44表示在1975年把这种政策注入这个模型的结果。

通过使出生率和死亡率相等，在1975年以后，人口保持不变。除此以外，这个模型系统在这种计算机趋势中的条件，同标准趋势（图35〕中那些条件是完全相同的。这个系统中剩下 的不受限制的正反馈回路，包括工业资本，继续引起人均工业产量、食品和服务的指数增长。不可再生的资源最终耗尽，带来工业系统的最终崩溃。

图44中人口增长的正反馈回路平衡是有效的，而且人口保持不变。最初，出生率和死亡率都低。但是，仍然有一个未经核实的支配工业资本增长的正反馈回路在这个模型中起作用。当人口稳定时，在这个回路周围的收获增加，结果人均收入、粮食和服务很迅速地增长。但由于不可再生的资源耗尽，增长不久就停止。于是死亡率上升，但是总人口并不下降，因为我们需要出生率等于死亡率（这里很清楚是不现实的）。

显然，如果我们想要一个稳定的系统，甚至让两个关键性的正反馈回路之一产生不可控制的增长也是不合乎需要的。只有稳定的人口不足以防止超越和崩溃；包含不变的资本和上升着的人口的类似的趋势表明，只有稳定的资本也是不够的。如果我们同时使两个正反馈回路都处在控制条件下会发生什么呢？通过要求投资率等于折旧率，我们可以使这个模型中的资本贮存稳定，外加一个模型连接，恰好与人口稳定的模型相似。

图45中表示在1975年停止人口增长和在1985年停止工业资本增长和没有其他变化的结果。（允许资本增长到1985年，使平均的物质生活标准有所提高）。在这种趋势中防止了图44的严重过头和崩溃。人口和资本在每个人的粮食、工业产品和服务的相当高的水平上达到不变的值。可是，资源短缺最终使工业产量减少和暂时的稳定状态衰退。

图44的人口稳定政策，加以限制资本的增长，要求资本的投资等于折旧。现在，指数增长是停止了，达到了暂时的稳定状态。可是，由于

没有假定保存资源的技术，在这种状态中，人口和资本的水平高得足以迅速地耗尽资源。随着资源基础衰竭，工业产量也会减少。资本基础虽然保持同样的水平，可是，要获得资源，并生产有用的产品，必须投入更多的资本，因而资本的效率下降。

什么样的模型假设将为我们提供比图45更加像样的生活水平，并与更加稳定相结合呢？我们可以通过把技术变革与价值变革结合起来，使这个系统的增长趋势减弱，来显著地改善模型的行为。这样一些政策的不同组合，为我们提供一系列计算机输出，这些输出代表了合理的和高水平的人均产品和长期稳定。这种输出的一个例子见图46。

技术政策加上以前的调节增长政策，产生一种遥远未来可以维持的平衡状态。技术政策包括资源再循环，控制污染设备，增加一切形式的资本的寿命，以及恢复已经被侵蚀的贫瘠土壤的方法。价值改变包括强调增加粮食和服务而不是工业生产。正如在图45中，使出生等于死亡，工业资本投资等于资本折旧。人均工业产量的平衡值是1970年平均值的三倍。

图46表明，产生这种行为的政策是：

1．1975年通过使出生率等于死亡率而使人口稳定。允许工业资本自然地增长到1990年，此后，通过使投资率等于折旧率，工业资本也稳定了。

2，为避免不可再生的资源短缺，如图45所示，每单位工业产品的资源消耗，减少到1970年值的1／4。（这项政策和以下五项政策是在1975年引进的。）

3．为了进一步减少资源消耗和污染，社会在经济上的偏爱更加倾向于服务，例如教育和卫生设施，而较少倾向于工厂生产的物质商品。（这种变化是通过使“需要的”或者“理想的”人均服务作为收入上升的函数关系来实现的。）

4．每单位工农业产品所产生的污染，减少到1970年值的1／4。

5．由于单有上述政策会导致相当低的人均粮食数值，如果传统的不平均分配继续存在，有些人仍然会营养不良。要避免这种情况，为所有人生产足够的粮食提出了较高的数量。因此，便使这样一种投资被认为是“不经济的”，资本转向粮食生产（这种变化是通过人均“需要的”粮食

关系来落实的）。

6．当必须生产足够粮食的时候，强调高度资本化的农业，会导致土壤迅速侵蚀和土壤肥力耗尽，在农业部门破坏长期的稳定。因而，农业资本的利用已经变为使土壤肥沃，并保持高度的优先权。这种政策包含利用资本使城市有机废料做成堆肥，并使它们还田（这种实践也减少污染）。

7．在上面六个条件下，为了较高水平的服务和粮食生产，以及为了使资源再循环和控制污染而消耗工业资本，会使工业资本贮存降到最终低水平。为了抵消这种结果，工业资本的平均寿命增加了，包含为耐用和修理作出更好的设计，以及较少因为过时就抛弃，而这种政策也倾向于减少资源耗尽和污染。

在图46中，稳定的世界人口仅仅略大于今天的人口。每个人的粮食数量比1970年平均值的二倍还多，世界平均寿命大约是75岁。人均工业产量比今天的水平高得多，而人均服务已经翻了三番。人均收入总平均（工业产品、粮食和服务结合在一起）大约是1800美元。这个数值大约是美国现在的平均收入的一半，等于欧洲现在的平均收入，是现在全世界平均收入的三倍。像在任何现实的假定下一样，资源仍然在逐渐耗尽。但是，耗尽的速度很慢，以致技术和工业有时间来适应可以得到的资源的变化。

表示这种模型趋势的特征的常量不是唯一能产生稳定系统的常量。其他人或团体，可以按不同的方式来解决对各种不能同时兼顾的因素的权衡，或者把重点放在服务上，或者放在粮食上，或者放在污染上，或者放在物质收入上。在最乐观假定下，这个例子仅仅对地球在物质上可以维持的人口和资本水平作了说明。这个模型不能告诉我们如何达到这些水平。它只能指出一套可以达到的相互一致的目标。

现在，至少让我们回到这个现实世界的一般方向上来，并放宽我们关于可以突然使人口和资本绝对稳定的最不现实的假定。假设我们把产生图46的七项政策变化的后六项保留下来，但是，从1975年开始，用下面的政策来代替第一项政策：

1．人口已接近100％有效地控制生育。

2．理想的家庭规模平均是二个孩子。

3．经济系统努力保持人均工业产量大约在1975　年的水平。多余的工业能力用于生产消费品，而不是把工业资本的投资率增加到折旧率上。

图47表示由这种变化产生的模型行为。现在，这个系统中的滞后允许人口增长得比图46中大。结果，人均物质商品、粮食和服务保持低于以前的趋势（但是仍然高于今天全世界的平均值）。

如果取消对以前的增长趋势的严格限制，人口和资本则在系统的自然滞后范围内加以调节，与图46，人口的平衡水平较高，人均工业产量的水平较低。这里假定，控制生育完全有效，到1975年达到平均两个孩子的理想的家庭规模，因为人口的年龄结构中固有的滞后，只是慢慢地接近死亡率。

我们并没有假定，这模型达到稳定所必须的任何一项政策，可以或者应当在1975年时突然引进这个世界。一个社会选择稳定作为目标，当然必须逐渐地接近这个目标。可是，允许指数增长持续得越久，保持最后稳定状态的可能性就越小，认识到这一点是很重要的。图48表明，等到2000年来制定图47中1975年已经制定的同样政策的后果。

如果前图中在1975年制定的所有政策推迟到2000年，就不再能维持均衡状态。人口和工业资本达到很高的水平，足以在2100年以前造成粮食短缺和资源短缺。

在图48中，人口和人均工业产量都达到比图47中高得多的数值。结果，污染达到更高的水平，尽管最后引进了节约资源的政策，资源还是严重耗尽。事实上，在推迟制订稳定政策的25年（从1975年至2000年）期间，资源消耗大约等于图 47从1975到2100这125年的总消耗量。

许多人会认为，我们为了避免增长和崩溃的行为方式而引进这个模型变化的，不仅是不可能的，而且它们本身是令人不愉快的、危险的，甚至是灾难性的。像降低出生率和使资本从生产物质商品转移出来等政策，不论用什么方法来贯彻，似乎都是不自然和不理想的。因为，在大多数人的经验中，这些政策并没有被试验过，甚至没有认真地提出过。如果我们感到，现在的不受限制的增长模型，在未来是可以维持的，那么讨论这样一些基本变化在现代社会中的作用意义是不大的。可是，我们可以得到的一切证据指出，有三个可供选择的方案——不受限制的增长、自己对增长加以限制，或者自然对增长加以限制——事实上只有后

面两种方案是可能的。

接受自然对增长加以限制。不需要更多的努力，只要让事情自然地发展，并等着会发生什么？正如我们在这里已经表明的，这种决定的最可能的结果将是人口和资本的不可控制的减少。这样一种崩溃的真实意义是难以想象的。因为它可以采取许多不同的形式。它可以在不同时间在世界的不同部分发生，或者它可以在全世界发生。它可以突然发生，或者逐渐发生。如果首先达到的极限是粮食生产，非工业化国家就会经历人口大量减少。如果强加的第一个极限是不可再生的资源耗尽，这种崩溃也许并不减少地球对动植物生命的负荷能力，也许会减少或消灭这种负荷能力。在这过程的终端留下的人口，不论什么部分，当然会很少，由这部分人口来建立一个我们现在可以想象的任何形式的新社会。

达到自己对增长加以限制，需要做许多努力。它将包括学会用新方法做许多事情。它会使人类的机智、灵活性和自觉纪律受到压力。自觉控制增长，促使增长结束，是一场不容易应付的巨大挑战。这种努力的最终结果值得吗？通过这样一种转变，人类会得到什么，会失去什么？让我们更加详细地考虑一下，不增长的世界会是什么样子？

均衡状态

我们在人类历史上，决不是为人类社会提议某种不增长状态的第一批人。许多哲学家、经济学家和生物学家已经讨论过这样一种状态，并且用许多包含着不同含义的不同的名称来称呼它。

我们在多次讨论以后，已经决定用“均衡”这个术语来称呼图46和47中表明的人口和资本稳定的状态。均衡意味着对立的力量之间的一种平衡或相等的状态。在这个世界模型的动力学术语中，对立的力量是引起人口和资本贮备增加的那些力量（希望家庭规模大、控制生育效率低、资本高、投资率高）和引起人口和资本贮备减少的那些力量（缺少粮食、污染、折旧率或废弃率高）。“资本”这个字应当理解为结合在一起的服务、工业资本和农业资本。因此，全球均衡状态的最基本的定义是人口和资本基本稳定，倾向于增加或者减少它们的力量也处于认真加以控制的平衡之中。

在这个定义范围内，有许多回旋余地。我们只规定，资本贮备和人口保持稳定，但是，在理论上可以是在高水平上或者低水平上稳定，或者一个可以是高水平的，另一个则是低水平的。一桶水流进流出，很快

或者慢慢地滴进滴出都可以保持已知水平。如果流得快，水在桶中下降所费的平均时间少。同样，任何规模的人口都可以达到稳定，或者出生率和死亡率相等（平均寿命短），但都很高；或者出生卒和死亡率相等（平均寿命长），但都很低。资本的储备可以用高额投资和折旧率，或者低额投资和折旧率来保持。这些可能性的任何组合都能适合我们关于全球均衡的基本定义。

在这种均衡状态里适用的许多选择中间，可以用于选择的标准是什么？这个世界系统中的动态相互作用指出，必须作出的第一个决定取决于时间。这种均衡状态应当存在多久？如果社会只对六个月或一年时间才有兴趣，这个世界模型指出，几乎任何水平的人口和资本都可以保持。如果时间延长到20或 50年，选择的自由就大大减少了，因为速度和水平必须加以调整，以保证资本的投资率在此期间不会受可以得到的资源的限制，或者死亡率不会受失控的污染或粮食短缺的影响。社会愿意保持的均衡状态越久，速度和水平就必须越低。

当然人口或资本的水平不可能永远保持在极限上，但是，只要明智地管理资源，以及在计划上有足够长的时间，那个极限在时间上是离得很遥远的。只要提供适当的粮食和医疗上的照顾，我们认为明天出世的孩子的估计寿命为70岁是合情合理的时间标准。因为大多数人为抚育孩子而耗费他们的大部分时间和精力，他们可似选择一个最小的目标，以便留给孩子们的社会能维持孩子们的整个一生。

如果社会的时间标准长达70年，正如图47中的均衡趋势指出的，可以允许的人口和资本的水平同今天存在的水平不会大不相同（当然是几种可能性中唯一的一种可能性）。可是速度同今天的速度会很不相同。因为健康长寿似乎是人类的普遍愿望，任何社会无疑宁愿死亡率低而不是高。要保持均衡和长寿，那么出生率也必须是低的。如果资本的投资率和折旧率也低就最好，因为它们越低，资源消耗和污染就会越少。资源消耗和污染保持最小，既可以提高人口和资本的最大规模，也可以保持均衡状态的时间长度延长，这取决于整个社会宁愿选择哪一个目标。

由于为生存选择相当长的时间水平，以及较长的平均寿命作为理想的目标，我们现在对全球均衡状态得到的一套最低的要求是：

1．工厂资本和人口在规模上不变。出生率等于死亡率，资本的投资率等于折旧率。

2．所有投入和产出的速率；包括出生、死亡、投资和折旧保持最小。

3．资本和人口的水平以及两者的比例安排得与社会价值一致。随着技术进步创造新的选择自由，它们可以深思熟虑地加以修正，慢慢地加以调整。

用这种方式规定的均衡并不意味着停滞。在上述最初两条准则范围内，企业可以扩大或者破产，地方人口可以增加或减少，收入分配可以公正地增加或减少。技术进步会允许不变的资本贮备所提供的服务慢慢地增加。在第三条准则范围内，任何国家通过改变其人口和资本之间的平衡，就可以改变其平均生活水平。而且，一个社会通过提高或降低人口和资本贮备，或者兼而有之，按照心中预定的目标，慢慢地和以受控的方式调节内部或外部因素的变化。上面三点所规定的这种动态平衡，不需要，而且很可能不会把这个世界“冻结”成为现时碰巧存在的人口—资本结构上。接受上面三点声明的目的是要为社会创造自由，而不是把一种约束力强加给社会。

在这样一种均衡状态中，生活会像什么样子呢？会窒息发明吗？社会会固定在我们今天这个世界中所看到的不平等和不公正的模式里吗？讨论这些问题必须在精神模型的基础上进行，因为在均衡状态中并没有社会条件方面的正规性。没有一个人能预见到在这些新条件下，人类应当发展到什么制度。当然也没有保证新社会会比今天存在的社会好得多，或者很不相同。可是，一个社会免除了同增长引起的许多问题作斗争，就可以有更多的精力和创造才能用于解决其他问题。事实上，我们相信，正如我们下面要说明的，社会的进化有助于发明和技术发展，一个以平等和公正为基础的社会，与其说是在我们今天所经历的增长状态中进化，很可能不如说要在全球均衡状态中进化。

均衡状态中的增长

约翰·斯图亚特·穆勒在1857年写道：

几乎没有必要谈论资本和人口的不变条件决不意味着人类改良的不变状态。对于全部精神文明，以及道德进步和社会进步来说，永远有很大的余地，就像改进生活的艺术具有很大的余地一样，而且很可能它已被改进了。

在均衡状态中，需要不变的量只有人口和资本。而那些不需要大量不可代替的资源，或不产生严重的环境退化的人类活动，可以无限地继续增长。特别是那些被许多人列为人类的最理想和最满意的活动，如教育、艺术、音乐、宗教、基础科学研究、体育活动和社会的相互影响，是能够繁荣的。

上面列举的全部活动非常强烈地依赖于两个因素。首先，在人类对粮食和住房的基本需要已经满足以后，它们依赖于可以得到的一些剩余产品。第二，它们需要闲暇时间。在任何均衡状态中都可以调整资本和人口的相对水平，以保证人类的物质需要在任何理想的水平上得到满足。由于物质产品的数量基本上是不变的，生产方法方面的每一项改良都能导致人口的闲暇时间增加，如上面所列举的那些活动就要得到发展，这些活动不消耗资源和不产生污染。因此，可以避免伯特兰·罗素描述过的这种不愉快的情况：

假定在一定时刻有一定数量的人参加制造别针。他们一天工作（比如说）八小时，制造这个世界所需要的别针。某人做出一项发明，靠这项发明，同样数量的人可以制造两倍于以前的别针。但是，这个世界并不需要这么多的别针，为此，别针只有便宜到几乎价格再低也不能增加购买的水平。在一个明智的世界里，每一个与制造别针有关的人会开始工作四小时，而不是八小时，其他一切照常。但是，在现实世界里，这会被认为是陷入混乱。人们仍然工作八小时，别针太多了，有些雇主破产，以前与制造别针有关的人，一半失业。最后，就像其他办法一样有许多闲暇时间，但是一半人完全闲着，而一半人仍然过分劳累。按照这种方式，不可避免的闲暇时间肯定到处引起苦难，而不是普遍幸福的源泉。还能想象什么事情是更愚蠢的呢？

但是，在一个完全满足了基本物质需要，而且不允许追加生产的世界里，会出现使别针和其他任何东西的生产更加有效的技术改良吗？人类是否必须迫于苦难和物质增长的刺激，才发明做事情的更好方法呢？

历史的证据表明，没有什么发明是由那些必须把全部精力用于克服生存的直接压力的人们做出来的。原子能是在基础科学的实验室里，由不知道矿物燃料耗竭的任何威胁的人们发明的。第一个遗传实验是在欧洲宁静的修道院中发生的，100年以后，导致农作物高产。人类的迫切需要已经迫使这些基本发现应用于各种实际问题，但是，只有摆脱需要的影响，才产生了实际应用所必需的知识。

在均衡状态中，技术进步既是必要的也是受欢迎的。这种实际的发明，有几个明显的例子能够加强稳态社会，它们包括：

·收集废料的新方法，以减少污染，并使被抛弃的物质可用于再循环；

·更有效的再循环技术，以降低资源消耗率；

·更好的产品设计，以延长产品寿命和便于修理，结果是资本的折旧率最小；

·利用最无污染的太阳能；

·在更完备地理解生态关系的基础上，使用控制天然害虫的方法；

·医学进步能降低死亡率；

·避孕进展能促进出生率同降低着的死亡率相等。

至于说鼓励人们产生这样一些技术进步的刺激，还没有什么能比一个新观念会转化成为生活质量明显改善的知识更好的刺激呢？人类历史上新发明的长期记录已经导致拥挤、环境退化，以及更大的社会不平等，因为更高的生产率已经被人口和资本增长吸收了。只要这些目标代替增长成为社会的基本价值，更高的生产率就没有理由不能转化为每个人更高的生活水平，更多的闲暇时间，或更愉快的环境。

均衡状态中的平等

在我们的现代社会中，最普通的已被接受的神话之一是指望我们现在的增长模式继续下去并导致人类平等。我们在这本书的各个部分已经说明了，现在人口和资本的增长模式，实际上在全世界扩大了贫富之间的差距，按照现在的模式，不断试图增长，必然以灾难性的崩溃而告终。

人口增长可能是更加平均地分配世界资源的最大障碍。当必须分配不变资源的人数增加时，分配平等就减少，这似乎是普遍的意见，令人遗憾，但是可以理解。如果每人可以得到的平均数量不足以维持生活，平均分配就成为社会自杀。联合国粮农组织对粮食分配的研究，实际上已经用文件证明了这种普遍的意见。

对分配曲线的分析表明，当一个集团整体的粮食供应减少时，就着重指出摄取方面的不平等，而营养不足的家庭数，增加得超过偏离平均值的比例。而且粮食亏空额随家庭规模增长，以致大家庭，特别是他们的孩子们，在统计上最可能是营养不良的。

在长期的均衡状态中，人口和资本的相对水平，及其与不变的限制因素的关系，例如土地、淡水和矿物资源等，必须安排得有足够的粮食和物质产品，（至少）可以维持一个人的生存水平。这样就会排除平均分配的一个障碍。而且增长的希望是对平等的实际障碍，不可能再维持下去了。正如海尔曼 E·戴利博士已经指出的：

由于几条理由，不变状态的重要问题将是分配，而不是生产。求助于增长不再能避免相对份额问题。只要财富的绝对份额增加，而不管他的相对份额如何，每个人都应当是幸福的，这种论据将不再适用……安定对我们的环境资源的要求较少，但是对我们的道德资源的要求很多。

当然，即使在均衡状态中，没有把握认为人类的道德资源会足以解决收入分配的问题。可是，在现在的增长状态中，能解决这样一些社会问题的把握就更小了，因为这种状态使世界人民的道德资源和物质资源都紧张起来。

我们在这里描绘的均衡状态的图景，的确是理想化了的。这种状态也许不可能达到，而且也许是地球上大多数人所愿意选择的。描绘这种状态的唯一目的是要强调：全球均衡确实不意味着进步或人类发展的终止。在均衡状态范围内，可能性几乎是无止境的。

均衡状态不会摆脱压力，因为没有社会可以摆脱压力。均衡需要用一定的人类自由，例如，生孩子的数量不受限制，或者消耗资源的数量不加控制等，来换取其它自由如解除污染、拥挤，以及这个世界系统崩溃的威胁等。这样，很可能带来普及的和不受限制的教育，创造发明的闲暇，最重要的是今天世界人民的一小部分所享有的免除饥饿和贫困。

从增长过渡到全球均衡

关于要达到一种理想的、可以维持全球均衡状态所应当采取的实际日程问题，我们能说的很少。这个世界模型和我们自己的思想都还没有发展得充分详尽细致，以理解从增长过渡到均衡的全部含义。在这世界社会的任何部分审慎地开始这样的过渡以前，必须有更多的讨论、更广

泛的分析，以及由许多不同的人提供的许多新思想。如果我们已经促进了这本书的每一位读者，开始深思应当怎样实现这样的过渡，我们就达到了我们的直接目的。

过渡到全球均衡，当然需要处理更多的信息。在精选世界数据并把这些数据加工，注入一个有机模型的过程中，我们已经意识到极其需要更多的事实——科学上可以测量的数字，然而他们还没有测量过。在现有的知识中最突出的不足之处是发生在这模型的污染部分。任何已知的污染物质，从它的排放地点流动到它进入人体的地点需要多久？任何污染物质处理成无害的形式所需要的时间是否取决于污染物质的水平？几种不同的污染物质的混合作用，对人类健康是否有增效作用？低标准剂量对人类和其他有机体的长期影响是什么？在现代集约化农业实践的条件下，土壤侵蚀和土地损耗的速度也需要有更多的信息。

作为系统分析专家，从我们自己的优越地位出发，我们当然会建议，寻求事实不是任意的，而是由建立系统结构的重要性大大增加支配的。所有复杂社会系统的行为，主要是由物质的、生物的、心理的和经济的网状组织决定的，这个网状组织把人口、自然环境、经济活动结合在一起。直到彻底地分析了我们的社会经济系统的基础结构为止，它们不可能有效地加以管理，正如一辆汽车不知道它的许多部分如何相互影响，就不可能保持良好的运行条件。研究系统的结构可以揭示，把某些简单的稳定反馈机制引进一个系统，将解决许多困难。沿着这条路线，已经有一些有趣的建议，例如，在产品的价格中包括污染和资源消耗的总费用，或者要求每一个用河水的人把他们的进水管放在他的出水管下游。

最后，我们需要的最难以理解的和最重要的信息涉及人类价值。当一个社会认识到它不可能为每个人把每样东西都增加到最大限度时，它就必须开始做出选择。是否应当有更多的人或者更多的财富？更多的荒地或者更多的汽车？给穷人更多的粮食，或者给富人更多的服务？对这些问题确立社会的答案，并把那些答案转化为政策，这是政治过程的本质。然而，在任何社会里甚至很少人认识到，每天都在做这样的选择，更少有人问他们自己，他们自己的选择会是什么？均衡的社会将必须不仅考虑现在的人类价值，而且也考虑未来的人类价值，并对由有限的地球造成的不能同时兼顾的因素，做出权衡。要做这件事，社会就需要有比现有的方法更好的方法，借以阐明实际上适用的可供选择的方案，确立社会目标，并得到同这些目标最一致的可供选择的方案。但是，最重要的是，必须详细说明长期目标，而且要使短期目标同长期目标一致。

虽然我们强调，对这些困难问题需要更多的研究和讨论，我们的结尾还是仓促的。我们希望，集中的研究和争论能同不断发展的行动纲领同时进行。细节还没有详细说明，但是行动的一般方向是显而易见的。已知的东西已经够多了，要根据政策的倾向，是促进还是调节增长，来分析已经提出的许多政策。许多国家已经采取了或者正在考虑稳定人口的方案，某些局部地区也在试图减少它们的经济增长率。这些努力目前还很微弱，但是，只要人类社会的一些相当大的部分认识到均衡的目标是合乎需要的和重要的，这些努力就可能很快加强。

我们已经反复地强调了在这个世界的人口—资本系统中天然滞后的重要性。滞后作用可以用以下例子进一步说明，例如，如果墨西哥的出生率从现在的值，逐渐降低到2000年妥当的取代值，这个国家的人口直到2000年还会继续增长。在此期间人口会从5000万增长到1.3亿。如果美国的人口从现在开始每个家庭有两个孩子，而且没有外来的移民，直到 2037年，人口会继续增长，从2亿增长到2.66亿。如果整个世界人口到2000年达到了取代的家度规模（这时人口将是58 亿），由年龄结构引起的滞后导致人口最后在82亿上达到平衡（假定死亡率在此以前不会上升，按照我们模型的结果，这是一个未必可能的假定）。

对这些问题不采取行动来解决，就等于采取强有力的行动。每天不断的指数增长，使这个世界系统更接近增长的最终极限。决定什么也不做，就是决定要增加崩溃的危险。我们不可能肯定地说，在人类失去控制机会以前，开始审慎地控制其增长能延迟多久。根据现在对这个行星上物质的限制因素的知识，我们觉得，增长阶段不可能再继续100年。另一方面，因为这系统中的滞后，如果全球社会要等到这些限制因素清清楚楚明明白白，那就等得大久了。

我们既有深切关注的理由，也有希望的理由。深思熟虑地限制增长是困难的，但不是不可能的。进行的途径是很清楚的，必要的步骤对人类社会来说虽然是新的，却完全在人类力所能及的范围以内。在人类历史上的这个短暂时刻，人类拥有综合这世界曾经知道的知识。工具和资源的力量，有创造一个世代相传、完全新型的人类社会必需的一切物质条件。但缺少两个引导人类走向均衡社会的因素：一个是现实主义的长远目标，另一个是要达到这个目标的人类意志。没有这样一个目标，并对这个目标承担义务，短期的关切会引起指数增长，以至推动这个世界系统走向地球的极限和最终的崩溃。有了这个目标并承担义务，人类从现在就会准备好开始有控制地、有秩序地从增长过渡到全球均衡。

评 论

在邀请麻省理工学院小组承担这项研究时，我们心目中有两个直接的目的。一个目的是要探讨我们的世界系统的极限，以及它对人类的数量和活动所施加的强制力。人类现在比以前任何时候更趋向于不断增长，常常是人口、占用土地、生产、消费和废物等等的加速增长，盲目地设想环境会容许这样的扩张，其他集团会屈服，或者科学技术会消除障碍。我们想要探索对增长的这种态度同我们这个有限行星的大小，以及同我们的正在出现的世界社会的基本需要——由于减少社会的和政治的紧张局势而为一切人改善生活的质量——相容的程度。

第二个目的，是要帮助认清和研究影响这个世界系统长期行为的支配因素以及它们的相互作用。我们相信，像现在的习惯做法那样，靠集中注意于国家制度和短期分析是不可能得到这样的知识的。这个方案并不想要成为一部未来学著作，它想要成为对现在的趋向，它们的相互影响，以及它们的可能结果的一种分析。我们的目标是要提出警告，只要允许这些倾向继续下去，就有潜在的世界危机，并因此提供一个机会，来改变我们的政治、经济和社会制度，以保证不发生危机。

这份报告令人满意地符合于这些目的。它对世界形势作了广泛而又综合的分析，这是一个大胆的步骤。现在需要经过若干年来精练、深化和扩大这种研究，然而，这份报告仅仅是第一步。它所考察的增长极限，仅仅是已知的最主要的物质极限，而这些极限被这个有限的世界大大强化。事实上，这些极限由于政治的、社会的和制度的强制力、人口和资源的不平均分布，以及我们管理很大的复杂系统的无能，而进一步缩小了。

但是，这份报告也适用于更进一步的目的。它为世界的未来提出尝试性的建议，并从理论上和实践上不断努力展现新的宽广的未来前景。

我们已经在两次国际会议上，提出了这份报告的研究成果。这两次会议都是在1971年夏举行的，一次在莫斯科，另一次在里约热内卢。虽然提出了许多问题和批评，但对这份报告描述的前景，没有实质性的不同意见。这份报告的初稿也曾提交40多人听取评论，他们大多数是罗马俱乐部成员。提到有关批评的主要论点，也许是有好处的：

1．由于模型只能容纳有限的几个变量，所研究的相互作用也只是局部的。人们指出，这项研究所用的全球模型中，聚集程度必须很高。人

们普遍认识到，用一个简单的世界模型，可以考察基本设想变化的结果，或者考察政策变化在多大程度上影响着整个系统行为的变化。在现实世界里，类似的实验是冗长的、昂贵的，而且在许多情况下是不可能的。

2．人们提出，对科学技术进步可能解决某些问题的能力没有予以足够的估计。诸如十分简单安全的避孕方法的发展、由矿物燃料生产蛋白质、产生和利用实际上无限的能源（包括无污染的太阳能），及随后用于从空气和水合成食物，以及从岩石提取矿物。 可是，人们同意，这样一些发展可能会来得太迟，以至难以防止人口或环境的灾难。总之，它们可能只会推迟而不是避免危机，因为这问题是由不需要技术上解决的各种问题构成的。

3．其他人感到，在还没有充分探索过的领域里发现原料贮存的可能性比这模型假定的要大得多。但是，这样一些发现也只会推迟短缺，而不是消除短缺。可是，用几十年来扩大可以得到的资源，能给人们以时间去寻找补救办法。

4．有些人认为，这模型“技术统治”的色彩太浓了，注意到它没有包括关键性的社会因素，例如， 采纳不同价值系统的影响。莫斯科会议主席总结这一点时说：“人不只是生物控制论的装置。”这种批评很快就被接受了。现在的模型只考虑到人的物质系统方面，因为在最初的努力中，不可能设计和提出有效的社会因素。然而，尽管这个模型的主流是物质的，研究的结论却指出，需要在社会价值方面有基本的改变。

总的说来，大多数读过这份报告的人，同意它的观点。而且，只要这份报告提出的论据被认为在原则上是正确的（即使在考虑了无可非议的批评以后），大概怎样强调它们的意义都不为过分。

许多评论家都具有我们的信念，这方案的最重要的意义在于它提出的全球概念，因为，通过对整体的知识，我们得到对部分的理解，而不是反过来。这份报告以坦率的形式提出了不是一个国家或人民，而是所有国家和所有人民面临的选择，从而迫使读者把他们的眼界扩大到世界性问题的范围。当然这种态度的缺点是，研究的结论虽然对我们整个行星是正确的，但不能逐一应用于任何一个国家或地区，因为世界社会是不同的，各国的政治结构和发展水平也是不同的。

事实上，这个世界里发生的各种事件，确实是在紧张点零散发生

的，而不是在全球普遍地同时发生的。所以即使由于人类的惰性和政治上的困难，模型预期的结果被认为是要发生的，这些结果无疑会首先在一系列局部的危机和灾难中出现。

但是，这些危机会在世界范围内引起反响，许多国家和人民，通过采取仓促的补救行动或者恢复孤立主义和企图自给自足，只会使整个系统中起作用的条件更加恶化。这就说明，这一切可能并不正确。这个世界系统的各个部分的相互依赖会使这样一些办法最终无效。战争、瘟疫、工业经济的原料不足，或者普遍的经济衰退会导致传染性的社会崩溃。

最后，这份报告指出，在一个封闭系统中人类增长的指数性质，被认为特别有价值。尽管这个概念对我们的有限行星的未来有巨大意义，在实际的政治中却很少被提到或得到欣赏。麻省理工学院的方案对人民模糊地意识到的倾向提出了合理的系统的说明。

这份报告的悲观主义结论，已经而且无疑将继续是一个争论的问题。许多人会相信，例如，人口增长在有灾难性的危险以前，自然界会采取补救行动，出生率将下降。其他人也许只感到，在这种研究中认识到的倾向是人类无法控制的，人民将等待“突然发生某些事情”。还有一些人将希望现行政策的较小的修正，这会导致逐渐令人满意的重新调整，很可能导致平衡。还有许多人相信技术是解决一切问题的灵丹妙药。

我们欢迎并鼓励这种争论。按照我们的意见，对人类面临的危机的真正规模，以及在今后几十年中可能要达到的严重程度，有一个清楚认识的，是很重要的。

根据对我们分发的报告草案的反映，我们相信这本书将在全世界引起越来越多的人民认真地反省，现在的增长势头是否超越这个行星的负担能力，并考虑选择令人寒心的这种超越办法对我们自己和我们子孙的含意。

我们作为这个方案的倡议者，怎样评价这份报告呢？我们不可能正式代表我们罗马俱乐部的全体同事讲话，因为在他们中间存在着兴趣、重点和判断的不同。尽管这份报告只具有初步性质，它的某些数据有局限性，和它企图描述的这个世界系统的内在的复杂性有差距。但是，我们深信其主要结论的重要性。我们相信，它包含着一种启示，其意义比

仅仅在范围大小方面作比较要深刻得多，这个启示与现今人类困境的一切方面都有关。

我们在这里虽然只能表明我们的初步观点，并认识到这些观点仍然需要作大量的思考和整理，但是，我们在下列几个问题上是一致的：

1．我们深信，认识到世界环境在量方面的限度以及超越限度的悲剧性后果，对开创新的思维形式是很重要的，它将导致从根本上修正人类的行为，并涉及当代社会的整个组织。

只是现在，已经开始理解到在人口增长和经济增长之间有一些互相作用，二者都已经达到了空前的水平，人们被迫考虑他们的行星的有限大小，以及他们在这个行星上存在和活动的上限。调查无限制的物质增长的代价和考虑持续增长的替代办法，第一次成为生死存亡的问题。

2．我们进一步深信，人口的压力在这个世界里已经达到这样的水平，而且分布得很不平均，以致单单这一条就必然迫使人类去寻求我们星球上的一种均衡状态。

仍然有人口稀少的地方存在，但是把世界作为整体来考虑，人口增长如果说还没有达到临界点，也在接近临界点了。长期的人口水平当然没有唯一的最适当的极限，宁可说，在人口水平、社会和物质标准、个人自由，以及组成生活质量的其他因素之间，要有一系列的均衡。不可再生资源的贮存已经知道是有限的并且还在减少，我们的地球在空间上也是有限的，增长着的人数、最终意味着较低的生活标准和更加复杂的问题，这必须是普遍接受的原则。另一方面，稳定人口的增长不会危及基本的人类价值。

3．我们认识到，只要许多所谓发展中国家与经济发达国家相比较，都有很大改善，世界均衡就可能成为现实，而且我们断言，只有通过一种全球战略才能实现这种改善。

只要没有世界性的努力，今天的已经是爆炸性的差距和不平衡将继续扩大。不论是由于个别国家的自私，继续完全按它们自己的利益行动，或者是由于发展中国家和发达国家之间的权力斗争，结果只能是灾难。这个世界系统完全不够充裕，也不够丰富，以便更加长远地适应居民的利己行为和冲突行为。我们达到这行星的物质极限愈近，对付这个问题就愈加困难。

4．我们断言，全球的发展问题同其他全球问题如此密切地互相联系着，以致必须发展一种全面的战略，向所有主要问题，特别是人和环境的关系问题进攻。

由于世界人口倍增的时间只有30年多一点，而且还在减少，社会将难以满足这么多人在这么短时期中如此之多的需要和期望。我们很可能试图用过分开发我们的自然环境来满足这些需要，并进一步削弱这个地球维持生命的能力。因此，在人和环境方程的双方，形势将趋向于危险的恶化。我们不能期望单靠技术上的解决办法使我们摆脱这种恶性循环。对发展和环境这两个关键问题的战略，必须设想是一个共同的战略。

5．我们认识到，复杂的世界问题在很大程度上是由各种因素组成的，这些因素不可能用可测量的条件来表示。然而，我们相信，这份报告所用的主要是定量的方法，对理解世界性问题的作用是必不可少的工具。而且，我们希望，这样的知识能导致对各种因素的控制。

虽然所有主要的世界问题基本上是联系着的，然而还没有发现有效地处理所有问题的方法。在重新阐述我们关于整个人类困境的想法方面，我们采取的态度可以是极其有用的。它容许我们明确表示在人类社会内部，以及在人类社会和它的栖息地之间所必须有的平衡，并看出当这样一些平衡被破坏时可能引起的后果。

6．我们一致深信，人类面临的首要任务是迅速地从根本上调整目前不平衡的和危险地恶化着的世界形势。

我们现在的形势作为人的多种多样活动的反映，是极端复杂的。但是，纯粹技术上的、经济上的或法律上的措施和手段的结合，不可能带来实质性的改善。全新的态度是需要使社会改变方向，向均衡的目标前进，而不是以往的那种增长。这样的改革必须包括理解和想象方面的最大努力，以及政治上和道义上的决心。我们相信，这种努力是行得通的，而且，我们希望，这本书对于使改革成为可能的力量将起动员作用。

7．这种最大的努力是对我们这一代的挑战。它不可能传给下一代。必须毫不延迟地果断地开始这种努力，而且必须在十年中有效地改变方向。

这种努力虽然最初可以集中在增长的影响上，特别是人口增长的影响上。很快就必须提出全部世界性的问题。事实上我们相信，关于和技术变革相称的社会改革，关于在一切层次以及政治程序，包括最高级的世界性的政治组织在内根本改革的需要，能够在社会中很快显示出来。我们确信，只要我们了解没有行动可能带来的悲剧性后果，我们这一代就会接受这种挑战。

8．我们毫不怀疑，如果人类要开始新的进程，就必须有空前规模的国际上大力协同的办法和长远规划。

这样一种尝试需要全体人民的共同努力，而不管他们的文化、经济制度和发展水平怎样。但是，主要责任必须由比较发达的国家承担，不是因为这些国家更有远见和仁慈行为，而是因为这些国家仍然是传播增长的综合病症，并使其继续发展的根源所在。随着对这个世界系统的条件和活动的结果提出更加深刻的见识，这些国家将了解在一个根本上需要安定的世界里，只要他们不是作为达到更高级的稳定状态的跳板，而是作为世界范国内组织财富和收入的更加平均 分配的脚手架，他们的高度稳定的发展时期才能被证明是正确的，并得到默认。

9．我们毫不含糊地支持这种论点，给世界人口和经济增长强加上一个制动器，而绝对不是导致冻结世界各国经济发展的现状。

如果这样一个建议是由富裕国家提出的，它将被认为是新殖民主义的最后一次表演。达到全球的经济、社会和生态平衡的和谐状态，必须是以共同信念为基础的共同的冒险行动，而且与所有人的利益一致。经济上发达的国家需要有最伟大的领导能力，因为对于他们来说，走向这样一个目标的第一步，大概是要鼓励他们自己的物质产品的增长降低速度，而同时帮助发展中国家努力更快地发展经济。

10．我们最后断言，通过有计划的措施，而不是通过偶然性或突变，来达到合理的持久的均衡状态的任何深思熟虑的尝试，最终都必以个人、国家和世界的价值和基本目标变革为基础。

这种变革也许已经在流传了。可是，并不明显。我们的传统、教育、当前的行动和利益会严阵以待，并使这种变革缓慢。只有真正理解人类在这历史转折点上的条件，才能为人民提供充分的动力，去接受个人的牺牲，和达到均衡状态所需要的政治上和经济上的权力结构方面的变化。

当然，问题仍然是世界形势事实上是否像这本书和我们的评论所指出的那样严重呢？我们坚定地相信，这本书包含的警告，是得到充分证明的，而且我们今天文明的目的和行动只能使明天的问题恶化。但是，如果我们的试验性的论断竟然被证明太悲观了，那将是令人高兴的。

无论如何，我们的态度是一种很严肃的忧虑，而不是绝望的恐惧。这份报告描述了一种代替不受抑制的和灾难性的增长的办法，并且提出某些关于改变政策的思想。它可能产生适合于人类的一种稳定的均衡。这份报告指出，提出适当规模的人口、具有良好的物质生活，加上个人和社会无限发展的机会，也许是我们力所能及的。虽然我们是充分的现实主义者，没有被纯粹科学的和理论的思辨冲昏头脑，但是，我们同这种观点实质上是一致的。

一个社会在经济平衡和生态平衡上处于稳定状态的概念看来也许是易于掌握的，尽管现实距离我们的经济是如此之远，以致需要一场思想上的哥白尼革命，不过，思想转化为行动充满了令人不安的困难和复杂性。只有当《增长的极限》这种预言，以及它极端迫切的意义，在许多国家里已被一大批具有科学见解和政治见解的人们，以及民意接受时，我们才能认真地讨论从什么地方开始的问题。总之，这种转变大概是痛苦的，而且它将极其需要人的聪明才智和决心。正如我们已经提到的，确信没有其它通向生存的途径，可以把道义上和理智上的力量以及创造力解放出来，完成这种空前的人类事业。

但是，我们希望强调这种挑战，而不是强调制定通向稳态社会的道路的困难。我们相信，大量所有年龄和条件的先生们和女士们，将踊跃地对这种挑战立刻作出反应，而且渴望讨论不是假如而是我们怎样才能创造这种新的未来。

罗马俱乐部计划用许多办法去支持这样的活动。在麻省理工学院开始的对动态世界的大量研究工作，将在麻省理工学院和欧洲、加拿大、拉丁美洲、苏联和日本继续下去。而且，由于如果没有政治上的启蒙，理智上的启蒙是没效果的，罗马俱乐部还将促进世界论坛的创立，在没有正规的政府对话的前提下，政治家、政策制定者和科学家可以在那里讨论未来的全球系统的危险或希望。

我们希望提供的最后一个思想是，人必须探究他们自己 ——他们的目标和价值——就像他们力求改变这个世界一样。 献身于这两项任务必然是无止境的。因此，问题的关键不仅在 于人类是否会生存，更重要问

题在于人类能否避免在陷入毫无 价值的状态中生存。

罗马俱乐部执行委员会

亚历山大·金

SABURO OKITA

奥莱里欧·佩切依

埃德华·佩斯特尔

雨果·西曼

卡罗尔·威尔逊